

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

**Návrh opatření pro udržení vysoké provozuschopnosti  
akumulátorů drážních hnacích vozidel**

**Design of Measures for High Operability of Railway Driving  
Vehicle Accumulators**

**Student:**

**Bartusek Lukáš**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Jaromír Široký, Ph.D**

**OSTRAVA 2011**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Bartusek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 10 Dopravní technika  
Téma: **Návrh opatření pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů  
drážních hnacích vozidel**  
**Design of Measures for High Operability of Railway Driving Vehicle  
Accumulators**

Zásady pro vypracování:

Cíl: Na základě analýzy podmínek provozu hnacích vozidel a podmínek provozu akumulátorů posoudit stávající způsob jejich provozování a návrh opatření pro zlepšení jejich provozuschopnosti.

Osnova:

1. Analýza provozu a údržby akumulátorů u drážních hnacích vozidel.
2. Analýza podmínek udržování provozuschopnosti akumulátorů u provozovatelů drážních hnacích vozidel.
3. Návrh řešení pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů.
4. Provozně ekonomické hodnocení návrhu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík Jan. *Teorie údržby*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. 2006. 132 s. ISBN 80-248-1029-8  
Daněk Alois, Široký Jaromír, Famfulík Jan: *Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků*. Ostrava: Repronis. 1999. 152 s. ISBN 80-86122-41-7  
Famfulík Jan, Krzyžanek Radek, Galvas Peter. *Zkoušky spolehlivosti: (vybrané stochastické metody)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. 2010. 64 s. ISBN 978-80-248-2277-8  
ČD V25. *Předpis pro údržbu elektrických a motorových lokomotiv a jednotek*.  
Podklady od výrobců akumulátorů

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

Rád bych poděkoval Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za vedení bakalářské práce a poskytnutí cenných rad.

#### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB -TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB -TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB -TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB -TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB -TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bartusek Lukáš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zahradní 396,  
Šilheřovice,  
747 15

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BARTUSEK, L. *Návrh opatření pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů u drážních hnacích vozidel: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 46 s. Vedoucí práce: Šíroký, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem na zvýšení provozuschopnosti akumulátorů u drážních hnacích vozidel. V této práci je zhodnocení olověných, gelových a nikl-kadmiových akumulátorů při provozu a jejich provozní podmínky. Je zde i teoretický postup pro řešení k udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů u drážních hnacích vozidel a provozně ekonomické hodnocení návrhu.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BARTUSEK, L. *Design of Measures for High Operability of Railway Driving Vehicle Accumulators: Bachelor's Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2009, 46 pages. Supervisor: Šíroký, J.

The bachelor work deals with the idea to increase the service ability of batteries for railway locomotives. In this work are evaluated the lead-acid, gel and nickel-cadmium batteries during operation. Their working conditions, a theoretical method for solutions to keep high availability of the battery for rail locomotives and operationally economic evaluation of the proposal.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>9</b>
<b>0. Úvod . .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Analýza provozu a údržby akumulátorů u drážních hnacích vozidel .....</b>	<b>11</b>
1.1 Akumulátory a jejich rozdělení.....	11
1.1.1 Elektrolyt .....	11
1.1.2 Nádoby akumulátorů.....	12
1.1.3 Rozdělení podle účelu.....	12
1.2 Základní parametry elektrochemických zdrojů .....	13
1.3 Olověný akumulátor .....	14
1.4 Nikl-kadmiový akumulátor (Ni-Cd) .....	15
1.5 Nikl-Metal-Hydridový akumulátor (Ni-MH) .....	16
1.6 Lithium-iontové akumulátory (Li-ion) .....	16
1.7 Sodík-nikl chloridové (Na-NiCl <sub>2</sub> ).....	17
1.8 Srovnání současných systémů .....	17
<b>2. Srovnání olověných, gelových a nikl-kadmiových akumulátorů.....</b>	<b>18</b>
2.1 Olověný, gelový akumulátor.....	18
2.1.1 Proces nabíjení a vybíjení .....	19
2.1.2 Provozní závady olověných akumulátorů.....	22
2.2 Nikl-kadmiový akumulátor.....	23
2.2.1 Nabíjecí a vybíjecí křivky alkalických akumulátorů .....	23
2.2.2 Provozní závady alkalických akumulátorů .....	24
2.3 Samovybíjení a vlivy teploty u olověných a nikl-kadmiových akumulátorů .....	26
2.3.1 Olověné akumulátory:.....	26
2.3.2 Nikl-kadmiové akumulátory .....	27
<b>3. Analýza podmínek udržování provozuschopnosti akumulátorů u provozovatelů drážních hnacích vozidel.....</b>	<b>28</b>
3.1 Údržba olověných, gelových akumulátorů – rozsah údržby.....	29
3.2 Údržba alkalických nikl-kadmiových akumulátorů - rozsah údržby.....	32
3.3 Použití různých akumulátorů v kolejových vozidlech ČD .....	36
<b>4. Návrh řešení pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů .....</b>	<b>40</b>
4.1 Nabíjení akumulátorů, olověný a nikl-kadmiový .....	41
4.2 Návrh stání s trakčním vedením pro elektrická hnací vozidla.....	45
4.3 Nabíjecí stanice pro motorová a elektrická hnací vozidla .....	47
4.3.1 Provedení nabíječů umístěných v budově .....	48
4.3.2 Provedení s využitím volných kolejí, pomocí točny.....	50
4.4 Návrh pomocí přenosných nabíjecí zařízení.....	51

4.5 Vybavení vozidel monitorovacím zařízením stavu akumulátorů .....	52
<b>5. Provozně ekonomické hodnocení návrhu .....</b>	<b>53</b>
5.1 Ekonomické hodnocení stání pro elektrická hnací vozidla .....	53
5.2 Ekonomické hodnocení pro motorová a elektrická hnací vozidla.....	53
5.2.1 Ekonomické hodnocení nabíječů umístěných v budově.....	53
5.2.2 Ekonomické hodnocení využití volných kolejí, pomocí točny.....	54
5.3 Ekonomické hodnocení pomocí přenosných nabíjecí zařízení.....	55
5.4 Ekonomické hodnocení vybavení vozidel monitorovacím zařízením stavu akumulátorů .....	55
<b>6. Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>7. Seznam použité literatury .....</b>	<b>57</b>
<b>8. Seznam obrázků .....</b>	<b>59</b>
<b>9. Seznam tabulek .....</b>	<b>60</b>
<b>10. Seznam příloh.....</b>	<b>61</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

AGM – Absorbent Glass Materiál

HD – heavy duty

VRLA - (valve regulated lead acid)

C – kapacita zdroje [Ah]

$C_n$  – jmenovitá kapacita [Ah]

$I_n$  – nabíjecí proud [A]

$I_{vyb}$  – vybíjecí proud [A]

$F_{vs}$  – denní časový fond nabíjecího stanoviště [h]

$L_1$  – délka odstavné koleje [m]

$L_2$  – stavební délka odstavné koleje [m]

$P_{kap}$  – pokles kapacity [%]

$P_v$  – procento vybíjení [-]

R – vnitřní odpor [ $m\Omega$ ]

$S_{zp}$  – počet nabíjecích míst [-]

$T_{nab}$  – celková doba nabíjení akumulátoru [h]

$T_{zpi}$  – doba nabíjení jednoho vozidla [h]

$T_{zpz}$  – technologická doba před a po nabíjení akumulátoru [h]

$U_n$  – jmenovité napětí [V]

a – délka výhybky po námezník [m]

b – vzdálenost mezi nárazníky vozidel [m]

k – nabíjecí faktor [-]

$l_i$  – délka vozidla i-té řady [m]

$n_i$  – počet hnacích vozidel i-té řady odstavených na jedné koleji [-]

$t_{nab}$  – doba nabíjení akumulátoru [h]

$\alpha$  – koeficient současných vjezdů a obsazení nabíjecího stanoviště [-]

$\beta$  – koeficient nepravidelnosti nabíjení [-]

## 0. Úvod

Cílem bakalářské práce je na základě analýzy podmínek provozu hnacích vozidel a podmínek provozu akumulátorů posoudit stávající způsob jejich provozování a návrh opatření pro zlepšení jejich provozuschopnosti. První kapitola „Analýza provozu a údržby akumulátorů u drážních hnacích vozidel“ se bude zabývat rozdělením a stručným popsáním jednotlivých typů akumulátorů a jejich základních parametrů. V druhé kapitole „Srovnání olověných, gelových a nikl-kadmiových akumulátorů“ je popis těchto dvou akumulátorů. Popis jejich základních charakteristik a porovnání vlastností a jejich nejběžnějších závad. Následující kapitola nazvaná jako „Analýza podmínek udržování provozuschopnosti akumulátorů u provozovatelů drážních hnacích vozidel“ se bude zabývat popisem údržby u ČD a.s. a provozních podmínek gelových a nikl-kadmiových akumulátorů podle výrobců. Se závěrečným zhodnocením jejich nákladů na pořízení a chování v provozu. Předposlední kapitola se zabývá možností zvýšení provozuschopnosti akumulátorů. V poslední kapitole je provozně ekonomické hodnocení návrhů na zvýšení provozuschopnosti akumulátorů.

# 1. Analýza provozu a údržby akumulátorů u drážních hnacích vozidel

## 1.1 Akumulátory a jejich rozdělení

Akumulátor - je technické zařízení na opakované uchovávání energie. Do tohoto zařízení je nutné energii nejprve vložit, poté je možno teprve energii čerpat nazpět. V dopravní technice je v současnosti nejvíce používaná akumulátorová baterie, fungující na elektrochemickém principu. Patří mezi sekundární elektrochemický zdroj stejnosměrného proudu. Má schopnost hromadit energii a tu zpětným elektrochemickým pochodem vydat. [1]

Na akumulátory jsou kladeny rozdílné požadavky. Konstrukce akumulátorů je těmito požadavky ovlivněna, liší se např. provedením elektrod, použitým elektrolytem atd. V současnosti existuje mnoho typů akumulátorů, které se od sebe více či méně odlišují. Jejich třídění je možné provést podle mnoha hledisek. Zde je uvedeno rozdělení podle použitého elektrolytu, podle stupně uzavřenosti nádob a podle použití. [1] [3]

### 1.1.1 Elektrolyt

Nejrozšířenější jsou akumulátory tradiční konstrukce s tekutým elektrolytem. Který lze rozdělit na akumulátory s:

- kyselým elektrolytem - ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) používané hlavně v olověných akumulátorech
- alkalickým elektrolytem - jako elektrolyt je použit vodný roztok hydroxidu alkalického kovu, u většiny těchto akumulátorů se jedná o hydroxid draselný (KOH).
- neutrálním elektrolytem
- nevodným elektrolytem

U elektrolytů obsahujících vodu, které jsou nejpoužívanější, dochází k elektrolýze vody na kyslík a vodík, to má za následek tvorbu výbušné směsi a další negativní účinky. Proto jsou stále hledaná jiná vhodná řešení. Zásadním vylepšením se v tomto směru podařilo dosáhnout ztužením elektrolytu. Z akumulátorů potom neuniká aerosol a úbytek plynů pojistnými ventily je zanedbatelný. Jedním z možných řešení je elektrolyt gelový nebo elektrolyt nasáklý do masivních separátorů ze skelné tkaniny pod názvem

AGM (Absorbent Glass Materiál). Významným způsobem se tím zjednodušuje údržba a zlepšují pracovní podmínky. [1]

### 1.1.2 Nádoby akumulátorů

Materiály nádob akumulátorů musí vydržet chemické působení elektrolytu a zajistit dostatečnou mechanickou odolnost nádoby. Konstrukce nádoby musí také brát ohled na možnost vzniku plynů. [1]

#### Dělení podle stupně uzavření akumulátorové nádoby:

- Otevřené články nemají články opatřené víkem a z pochopitelných důvodů se u kolejových vozidel nepoužívají.
- Uzavřené články jsou opatřeny víčky s otvorem, kterým mohou z článků unikat plyny. Těmito články jsou osazeny akumulátory tradiční konstrukce. Dolévání destilované vody je u těchto akumulátorů běžnou součástí jejich údržby.
- Ventilem řízené články jsou za normálních pracovních podmínek uzavřeny a jsou vybaveny ventilem pro odpouštění plynů pro případ, že tlak uvnitř akumulátorů převyší stanovenou hodnotu. U těchto akumulátorů je plánováno, že původní náplň elektrolytu bude postačovat po celou dobu jejich životnosti. Akumulátory bez zátek jsou obvykle vybaveny vestavěným indikátorem množství a hustoty elektrolytu. [1]

### 1.1.3 Rozdělení podle účelu

Startovací akumulátory mají největší podíl na trhu. Hlavním účelem je dodat jednorázově velké množství energie pro start motoru. Trakční akumulátory slouží jako hlavní zdroj energie pro mobilní zařízení. Mají robustní konstrukci desek a jsou určeny pro dlouhodobou dodávku určeného množství energie. Prioritou je při jejich konstrukci je životnost, pokrývající velký počet cyklů vyznačujících se hlubokým vybitím a nabitím. HD akumulátory jsou určeny pro trvale obtížné pracovní podmínky (heavy duty) s velkými nároky na spotřebu elektřiny a zvýšené vibrace. Svoji konstrukcí tvoří spojovací článek mezi oběma předešlými druhy akumulátorů. Staniční akumulátory slouží obvykle k napájení důležitých spotřebičů v nouzovém režimu. Takové akumulátory jsou v provozu trvale připojeny k nabíjecímu zařízení a jejich vybití dochází pouze ve výjimečných případech. [1]

## 1.2 Základní parametry elektrochemických zdrojů

Pro výběr akumulátorů určených pro hnací vozidla se zaměřujeme na základní parametry akumulátorů.

Kapacita akumulátoru  $C$  – elektrický náboj vyjádřený v ampérhodinách (Ah), odevzdaný při vybíjení ze stavu plného nabití (definovaného způsobem nabití) do stavu povoleného vybití definovaného konečným vybíjecím napětím.

Jmenovitá kapacita  $C_n$  – elektrický náboj, který může za stanovených podmínek dodat úplně nabitý elektrochemický zdroj, v praxi se obvykle udává v ampérhodinách (Ah). Např.  $C_{10}$  znamená, že při uvedené kapacitě má akumulátor poskytnout po dobu 10 h vybíjecí proud rovnající se jedné desetíně jmenovité (nominální) kapacity  $I_v = 0,1 C_{10}$  (A).

Jmenovité napětí  $U_n$  – stanovená hodnota napětí, která je charakterizována pro elektrochemický systém. Udává se zpravidla ve [V].

Vybíjecí proud  $I_{vyb}$  – proud dodávaný při vybíjení do vnějšího obvodu. Uvádí se s indexem označující vybíjecí dobu v hodinách, například:  $I_5$ ,  $I_1$  (A) pro 5 h 1 h vybíjení, nebo v násobku Ah kapacity:  $I_{vyb} = 0,05 C_n$  (A).

Nabíjecí proud  $I_{nab}$  – uvádí se podobně jako vybíjecí proud, doba nabíjení se ale prodlužuje podle nabíjecího faktoru.

Nabíjecí faktor (nabíjecí ekvivalent) – koeficient, kterým se násobí velikost náboje odebraného při vybíjení akumulátorů, aby se dosáhlo úplného nabití akumulátorů. Například pro olověné akumulátory je to 1,15.

Energie zdroje – maximální energie, kterou může za předepsaných podmínek dodat plně nabitý elektrochemický zdroj. Podobně jako kapacita závisí na množství chemických aktivních látek obsažených ve zdroji. Udává se zpravidla ve watthodinách (Wh).

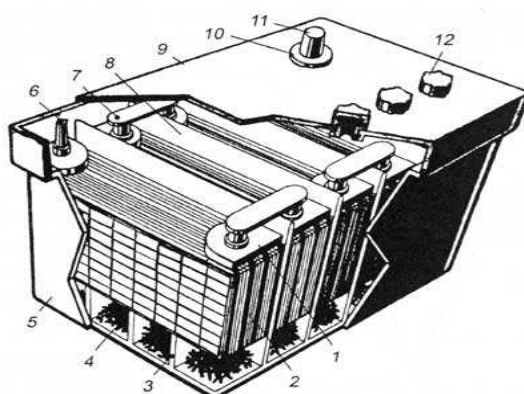
Samovybíjení – ztráta kapacity způsobená spontánní reakcí uvnitř zdroje, který není připojen k vnějšímu elektrickému obvodu. Udává se v procentech jmenovité kapacity. [1]

### 1.3 Olověný akumulátor

Olověný akumulátor je dnes nejrozšířenější a také nejpoužívanější sekundární elektrochemický zdroj proudu. Důvodem je dobře zvládnutá technologie výroby olověných akumulátorů, relativně nízká pořizovací cena, která je dána použitím levného olova pro kladné a záporné elektrody, provozní spolehlivost, dobrá účinnost i dostatečný výkon. [2]

Tento druh akumulátorů je nutné skladovat vždy v nabitém stavu. Pokud by došlo k vybití a následnému uskladnění, dojde k nenávratné ztrátě kapacity až ke zničení akumulátoru - sulfatace elektrod, která snižuje kapacitu baterie. [1]

V poslední době se objevují nové typy akumulátorů, které se označují zkratkou VRLA (z anglického valve regulated lead acid), jsou to ventilem řízené olověné akumulátory. Jedná se o zapouzdřené akumulátory se zamezením ztrát elektrolytu. Jedním z typů těchto akumulátorů je typ, kde je elektrolyt zahuštěn do formy gelu, tzv. olověné, gelové akumulátory. Nevýhodami těchto akumulátorů je nízká měrná energie (30 až 40 Wh/kg), a také zhoršení elektrických vlastností při použití v mezních teplotách, ať již kladných nebo záporných a malá životnost. Účinnost ukládání energie je nad 80 %. [1] [2]



Obr.1.1: Konstrukce olověného akumulátoru [4]

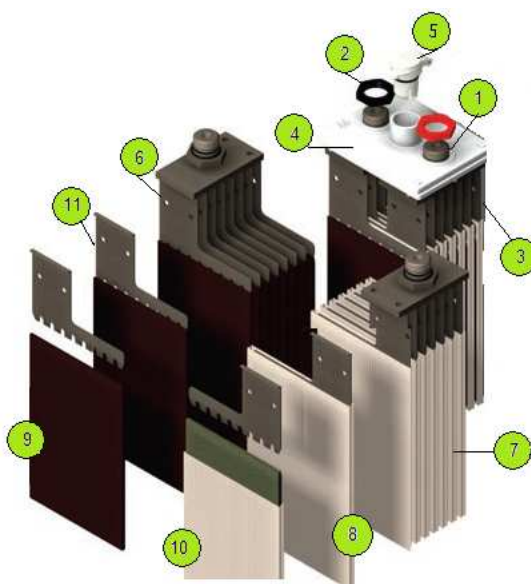
1 - hřeben s elektrodami, 2 - sestava článku, 3 - opěra elektrod článku, 4 - kalový prostor, 5 - nádoba baterie, 6 - kladný vývod článku, 7 - spojka vývodů článků, 8 - článková přepážka, 9 - víko baterie, 10 - těsnění vývodu článku, 11 - záporný vývod baterie, 12 - zátka nalévacího otvoru.

## 1.4 Nikl-kadmiový akumulátor (Ni-Cd)

Nikl-kadmiové akumulátory patří do skupiny alkalických akumulátorů. Mají vyšší měrný výkon (40 až 60 Wh/kg) a delší životnost, než-li olovené akumulátory. Nedostatkem těchto akumulátorů je přítomnost toxického kadmia v záporných elektrodách. Z toho důvody vyplývá vyšší pořizovací cena, z důvodu recyklace kadmia to je velmi toxické. V současné době se však již vyskytují tlaky na omezení produkce těchto akumulátorů hlavně pro použití vysoce karcinogenního kadmia.[2]

Dalšími nevýhodami Ni-Cd článků je vysoké samovybíjení (cca 25 % jmenovité kapacity za měsíc), velmi nízké konečné vybíjecí napětí (cca 1 až 0,85 V/článek), a v neposlední řadě je velmi problematický tzv. paměťový efekt, který způsobuje pokles kapacity při částečném vybíjení nebo nabíjení. Paměťový efekt u těchto akumulátorů lze jednoduše odstranit tak, že jej opakovaně vybijeme a nabijeme, tzn., že paměťový efekt je reverzibilní. [2]

Nikl-kadmiové akumulátory se uplatňují zejména, tam kde musí být stále v pohotovosti, i když jsou delší dobu mimo provoz, tj. u speciálních vozidel, při spouštění motorových lokomotiv apod. [1]



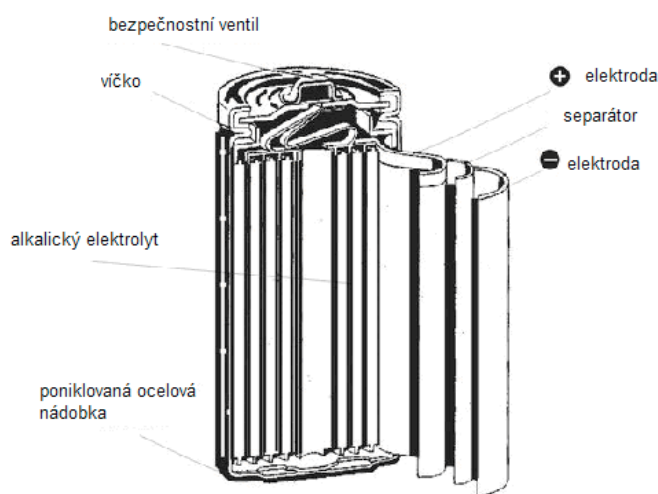
Obr.1.2: konstrukce Ni-Cd článku [5]

1 – kladný pól, 2 – záporná pól, 3 – článek baterie, 4 – víko článků, 5 – uzavírací zátka, 6 - sada záporných elektrod, 7- sada kladných elektrod, 8 – kladná elektroda s vláknitou strukturou, 9 – záporná elektroda s vláknitou strukturou, 10 - kladná elektroda s vláknitou strukturou se separátorem, 11 – proudový (vývod) praporek

## 1.5 Nikl-Metal-Hydridový akumulátor (Ni-MH)

Tyto akumulátory jsou nejčastěji používány pro hybridní pohony. Tyto hermeticky uzavřené zdroje s alkalickým elektrolytem jsou speciálním typem článků nikl-vodík. Základním rozdílem mezi články Ni-Cd a Ni-MH je náhrada kadmia slitinou kovu pohlcující vodík. Pracují s velmi malými tlaky vodíku, protože obsahují speciální niklové vícesložkové slitiny, které jsou schopny při nabíjení článku absorbovat velká množství vodíku a tvořit s nimi kovové hybridy (MeH). [1]

Akumulátory Ni-MH mají vysokou životnost, lze je dlouhodobě skladovat, a jsou ekologicky nezávadné. Jejich měrný výkon je obdobný jako u nikl-kadmiových ale měrná energie je vyšší (60 až 80 Wh/kg). Stejný článek Ni-MH co do rozměrů v sobě uchová téměř dvojnásobek energie než Ni-Cd. Akumulátory disponují nízkým vnitřním odporem. Tyto akumulátory jsou odolné jak k přebíjení, tak k předvybíjení. Nabíjecí napěťová charakteristika Ni-MH článků je podobná charakteristice článků Ni-Cd, pouze na konci nabíjení není tak výrazná. [1]



Obr.1.3: Řez článkem Ni-MH [1]

## 1.6 Lithium-iontové akumulátory (Li-ion)

Tento typ akumulátorů je běžně používán ve spotřebitelské elektronice. Je charakterizován vysokým měrným výkonem a energií 120 – 130 Wh/kg, nebo 200 až 250 Wh/l. Samovybíjení 5 – 8 % za měsíc. Články Li-ion obsahují lithium pouze v podobě iontů, nikoliv kovové, takže odpadají nepříjemnosti s tímto alkalickým kovem, a nezvyšují se nároky na bezpečnost. Dalšími výhodami je vysoká účinnost, nízká hodnota samovybíjení a recyklovatelnost je také akceptovatelná. Komerční



využití je však stále závislé na vysoké výrobní ceně a krátké životnosti. Vývoj vedoucí k možnosti využití těchto akumulátorů ve vozidlech stále probíhá. Podobné vlastnosti mají i akumulátory lithium- polymerové (Li-Pol). Které pracují na obdobném principu. [1] [2]

## 1.7 Sodík-nikl chloridové (Na-NiCl<sub>2</sub>)

Tento typ se řadí mezi vysokoteplotní akumulátory, tedy akumulátory využívající roztavenou sůl jako elektrolyt. Tento směr vývoje se zdá být velmi perspektivní ve vývoji akumulátorů. Akumulátor byl vynalezen již v roce 1985 a je spíše známá pod názvem baterie ZEBRA. Teplota tuhnutí elektrolytu je 157 °C a pracovní teplota elektrolytu se pohybuje v rozmezí 270 až 350 °C, což značně znesnadňuje konstrukci článků. [3]

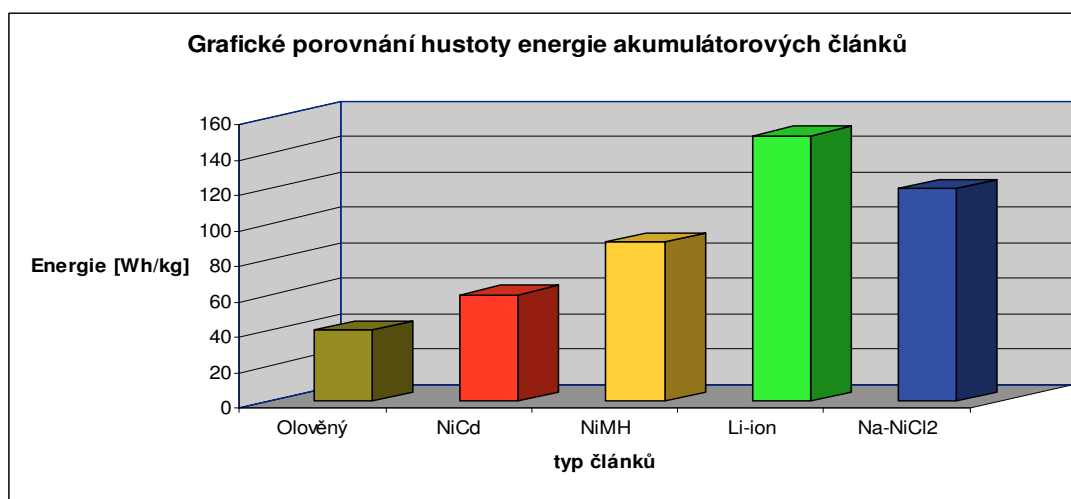
Tyto akumulátory se stejně jako akumulátory Li-ion vyznačují vysokým měrným výkonem a energií (90 – 120 Wh/kg). Předchozí parametry se však kombinují s vynikající cyklovou životností, v porovnání s ostatními typy akumulátorových baterií, a také vysokou účinností. Nevýhodou těchto akumulátorů je jejich malá pohotovost (před použitím se musí nejdříve nahřát na 300 °C), omezená rychlost nabíjení a zatím vysoká cena. I přes tyto nedostatky jsou velmi vážným kandidátem pro hybridní pohony. [2]

## 1.8 Srovnání současných systémů

V následující tabulce je uvedeno srovnání zde uvedených typů akumulátorů.

Tab.1: Základní parametry a vlastnosti akumulátorů zpracováno podle[2][1]:

	Olověný	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Na-NiCl <sub>2</sub>
U <sub>jm</sub> [V]	2	1,2	1,2	3,5	2,58
Energie [Wh/kg]	30 - 40	40 - 60	60 - 90	80 - 150	90 - 120
Energie [Wh/l]	70 - 120	80 - 130	150 - 200	160 - 200	148
Trvalý výkon [W/kg]	75	120	110	220	180
Vybíjení za měsíc [%]	30	25	30	5	0
Účinnost [%]	70	80	80	85	90
Pracovní teplota [°C]	0 - 45	-10 - 50	-10 - 50	- 40 - 60	270 - 350



Obr.1.4: Grafické porovnání hustoty energie akumulátorových článků

Nejčastěji se používají pro drážní kolejová vozidla olověné a nikl-kadmiové akumulátory. Tyto dva typy se používají z důvodu nižších nákladů na pořízení akumulátoru oproti dalším zde uvedených článků. Další zde uvedené akumulátory jsou vhodné pro využití v hybridních pohonech, než-li pro použití jako startovací a záložní akumulátory.

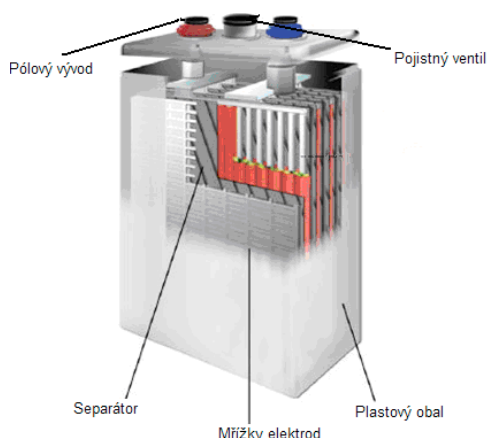
## 2. Srovnání olověných, gelových a nikl-kadmiových akumulátorů

U provozovatelů hnacích drážních vozidel se používají nejčastěji akumulátory olověné, gelové od výrobce Exide a alkalické nikl-kadmiové akumulátory od výrobce Saft Ferak. Olověný, gelový akumulátor výrobce označuje jako bezúdržbový akumulátor, na kterém se během životnosti nemusí provádět žádná údržba. U alkalických nikl-kadmiových akumulátorů je předepsaná pravidelná kontrola a údržba. V této kapitole je všeobecné porovnání vlastností těchto dvou typů akumulátoru.

### 2.1 Olověný, gelový akumulátor

U provozovatelů se označuje olověný, gelový akumulátor jako „Gelový“. Tento druh akumulátorů se označuje zkratkou VRLA (z anglického valve regulated lead acid) a nazývá se též rekombinační nebo hermetizovaný. Neobsahují elektrolyt v kapalném skupenství. Pro výrobu akumulátorů řízených ventilem se používají kolektory elektrod z olova legovaného vápníkem. Snaží se dosáhnout co největšího přepětí vodíku na

olovu aby se maximálně snížila elektrolýza vody na kyslík a vodík. Obsahují elektrolyt ztužený tixotropním gelem  $\text{SiO}_2$ . V gelu se během nabíjení tvoří kanálky, kterými pak difunduje kyslík vznikající na kladných elektrodách k elektrodám záporných, kde se váže s aktivní hmotou. Chemické reakce v akumulátoru probíhají stejně jako u akumulátorů AGM. Výhodou olověných, gelových akumulátorů je delší životnost (např. staniční s kladnými trubkovými elektrodami dosahují životnosti 15 až 18 let). Články mohou pracovat ve stojaté i ležaté poloze. Určitou nevýhodou je jejich poněkud větší elektrický odpor v porovnání s akumulátory AGM. [1]



Obr.1.5: Gelový akumulátor [20]



Obr.1.6: Gelový akumulátor v praxi

#### Charakteristika napětí olověného akumulátoru:

Tab.2: Základní vlastnosti 1 článků olověného akumulátoru [1]

Jmenovité napětí	2,0 V/článek
Plynovací napětí	2,4 V/článek
Trvalé dobíjecí	2,23 až 2,27 V/článek
Konečné nabíjení	akumulátory řízené ventilem 2,4 V/článek
	se zaplavenými elektrodami 2,7 V/článek
Konečné vybíjecí napětí	1,8 až 1,6 V/článek

#### 2.1.1 Proces nabíjení a vybíjení

Vlastností olověných akumulátorů je kromě množství akumulovaného náboje v průběhu nabíjení a vybíjení především změna velikosti a změna hustoty elektrolytu, které jsou přímo úměrné množství zbytkového (dodaného) náboje. Podle změny napětí zatíženého akumulátoru a jeho hustoty elektrolytu je spolehlivým ukazatelem změny stavu nabití akumulátoru. Analyzováním hustoty lze určit konečné stavy vybití a nabití, ale také množství zbytkového náboje akumulátoru. [1]

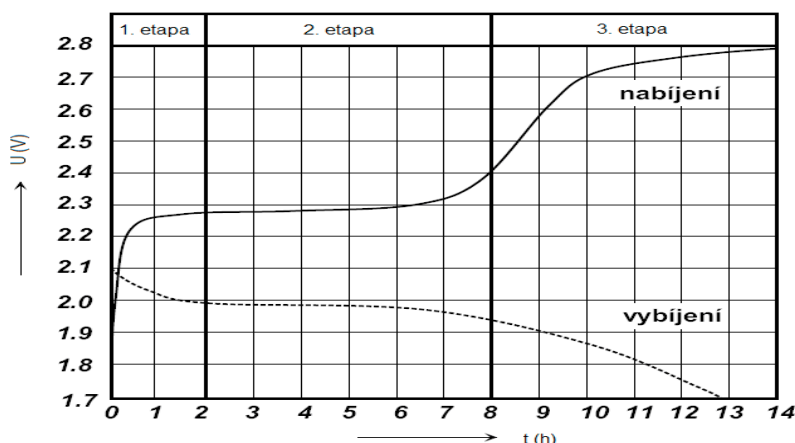
Pomocným ukazatelem nabití je tzv. plynování elektrod. Dochází k němu po dosažení tzv. plynovacího napětí. Jedná se o jev, kdy dojde k ukončení rozkladu síranu olovnatého  $\text{PbSO}_4$  na elektrodách a započítí rozkladu vody  $\text{H}_2\text{O}$  na kyslík  $\text{O}_2$  a vodík. Uvedený jev je možno využít u akumulátorů s nehermetickými nádobami, které umožňují uvolňování plynů. Akumulátory, které jsou označovány jako nehermetické je možno nabíjet pouze k hranici plynování. V opačném případě hrozí nebezpečí poškození akumulátorů, popřípadě nebezpečí exploze. Dalším jevem je změna vnitřního odporu  $R$  nepřímo úměrná stavu nabití. [5]

### Nabíjecí a vybíjecí charakteristika

Obecný průběh nabíjecí charakteristiky olověného akumulátoru je na obr. 1.3. Stoupající křivka zobrazuje nabíjecí charakteristiku a klesající zobrazuje vybíjecí charakteristiku. Rozdíl v počátečních hodnotách napětí křivek je dán opačnými směry úbytků napětí na vnitřním odporu  $R$  při nabíjení a vybíjení. Z charakteristiky jsou patrné mezní hodnoty pro olověné akumulátory a jejich napětí. [5]

### Rozbor průběhu nabíjení

Rozbor průběhu nabíjení lze provést pomocí nabíjecí křivky na obr. 1.3 při nabíjení konstantním proudem o velikosti  $0,1 C_n$ . Křivka napětí prochází třemi pásmy v závislosti na průběhu změn v elektrolytu. [5]



Obr.1.7: Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky olověného akumulátoru s vyznačenými etapami nabíjení. [5]

První pásmo po připojení nabíjecího proudu na zcela vybitý akumulátor ke zdroji nabíjecího proudu dochází ke zvyšování napětí na elektrodách v souvislosti s tvorbou

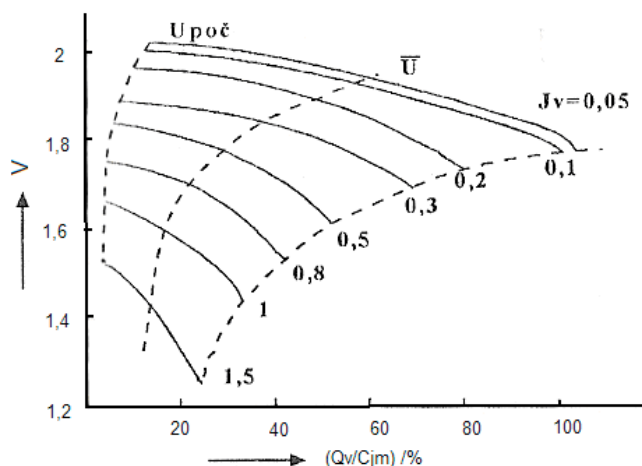
kyseliny sírové v pórech olověných elektrod. Jde o oblast mezi napětím 1,75 až 2,2 V hustota elektrolytu se zvětšuje z  $0,95 \text{ g/cm}^3$  na  $1,15 \text{ g/cm}^3$ .

Druhé pásmo je pásmo přeměny síranu olovnatého  $\text{PbSO}_4$ . Mezním napětí pásma je hodnota 2,45 V, kdy je veškerý síran olovnatý  $\text{PbSO}_4$  spotřebován a začne se rozkládat i voda a akumulátor začne plynovat. Hustota elektrolytu stoupá až na hodnotu  $2,5 \text{ g/cm}^3$ .

Třetí pásmo je charakteristické intenzivním plynováním akumulátoru. Při překročení napětí 2,45 V je postupně po rozložení veškerých zbytků síranu olovnatého veškerá energie spotřebovává na rozklad vody na kyslík a vodík. Napětí vzroste na hodnotu 2,7 až 2,8 V a dále se nezvyšuje, akumulátor je nabit. [5]

### Rozbor průběhu vybíjení

Podrobnější rozbor průběhu vybíjení konstantním vybíjecím proudem lze provést pomocí vybíjecí křivky na Obr. 1.7 Chemické změny odpovídají popisu průběhu nabíjení v opačném pořadí. Vybíjení je ukončeno po dosažení konečného vybíjecího napětí definovaného pro daný typ akumulátoru. Závislost velikosti napětí na svorkách akumulátoru pro různé velikosti vybíjecích proudů jsou zobrazeny na Obr. 1.8. [5]



Obr.1.8: Vybíjecí křivky olověného akumulátoru [5]

### Elektrolyt

Elektrolyt je látka v tekuté nebo pevné fázi. Elektrolyt pro olověné akumulátory se používá zředěná kyselina sírová  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Čistotu určuje norma ČSN 65 1230. Nejčastěji se používá kyselina sírová o hustotě  $1,24 \text{ g/cm}^3$  až  $1,28 \text{ g/cm}^3$ . S poklesem měrné hustoty kyseliny sírové, klesá i její bod mrznutí. Proto může akumulátor při hlubším vybití zamrznout již při teplotách pod bodem mrazu. [5]

## 2.1.2 Provozní závady olověných akumulátorů

### **Přebíjení a neúplné nabíjení akumulátorů**

K přebíjení akumulátorů dochází nabíjením akumulátorů po dosažení znaků plného nabití. Dalším poškozením dochází při nabíjení vysokými proudy, protože odolnost olověných akumulátorů vůči vysokým nabíjecím proudům klesá se stupněm nabití akumulátoru. Za vysoké proudy se považují nabíjecí proudy takové, při kterých napětí článků, přesahuje 2,4 V. Neúplné nabíjení je nabíjení ukončené dříve, než akumulátor dosáhne znaků plného nabití. Občasné jednorázové neúplné nabití akumulátoru není na závadu, pokud bude akumulátor nabíjen do znaků plného nabití. Při častém neúplném nabití, dochází u olověných akumulátorů k sulfataci aktivních hmot, a tím ztrátě kapacity. [1]

### **Nesprávná výška a hustota elektrolytu**

U akumulátorů, ve kterých je nutné během jejich provozu doplňovat vodu, mívají na nádobách vyznačeny rysky maximální a minimální výšky elektrolytu. U některých akumulátorů opatřují výrobci speciálními zátkami s různými indikátory hladiny elektrolytu. Nedodržení určené tolerance hladiny elektrolytu vede k poškození akumulátoru. [3]

U jednotlivých konstrukcí akumulátorů se hustota elektrolytu liší podle objemu elektrolytu vzhledem k množství aktivních hmot a je dána pro každý typ akumulátoru výrobcem. K zajištění správné činnosti akumulátorů je nutné udržovat v plně nabitých akumulátorech předepsanou hustotu elektrolytu.[1]

### **Sulfatace olověných akumulátorů**

K sulfataci dochází při vybíjení (samovybíjení) nebo je-li skladován ve vybitém stavu reakcí iontů  $\text{SO}_4$  z elektrolytu s aktivními hmotami elektrod za vzniku síranu olovnatého  $\text{PbSO}_4$ . Sulfatace spočívá v postupné přeměně jemně zrnitého síranu olovnatého v tvrdou hutnou vrstvu hrubozrnného síranu. Akumulátor se sulfatovanými elektrodami se velmi obtížně nabíjí, protože nabíjecím proudem se spíše vyvíjí vodík na záporné elektrodě, než redukuje síran olovnatý. [1]

### Hlavní příčiny sulfatace:

- dlouhodobé vyřazení akumulátoru z činnosti, zejména není-li dostatečně dobit
- dlouhodobé nedostatečné nabíjení
- vybíjení pod hranici napětí 1,7 V na článek
- vybíjení pod hranici jmenovité kapacity
- nedostatečná výška hladiny elektrolytu

## 2.2 Nikl-kadmiový akumulátor

Akumulátory se vyrábějí jako otevřené, nebo jako hermeticky uzavřené. Otevřený článek, se rozumí článek vybavený odšroubovatelným víčkem s tlakovou pojistkou. Tímto způsobem jsou provedeny články velkých výkonů, kde plyny mají kontakt s okolní atmosférou a z tohoto důvodu snesou bez jakýchkoliv jevů mnohonásobné přetížení, hlavně při vybíjení.[1]

Podle složení elektrod se alkalické akumulátory dělí na nikl-kadmiové a nikl-železité. V průmyslu jsou tyto dva typy nejrozšířenější. Akumulátory se železnou elektrodou mají nižší účinnost nabíjecího procesu, což znamená, ve srovnání s kadmiovou elektrodou, nutnost dodání vyššího množství elektrické energie při nabíjení. Mají vyšší samovybíjení a jejich použití při záporných teplotách je omezeno.[5]

### Charakteristika napětí Ni-Cd akumulátorů

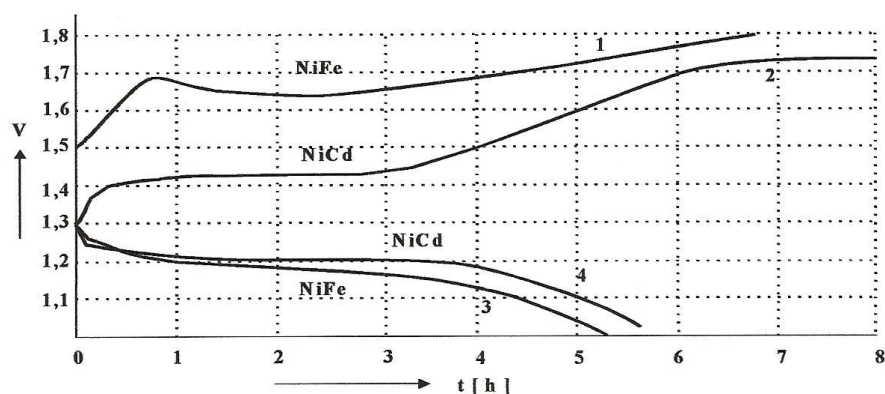
Tab.3: Základní vlastnosti 1. článků nikl-kadmiového akumulátoru: [1]

Jmenovité napětí	1,2 V/článek,
Udržovací napětí	1,38 až 1,43 V/článek,
Plynovací napětí	1,6 až 1,7 V/článek,
Konečné nabíjecí napětí	1,65 až 1,85 V/článek,
Konečné vybíjecí napětí	0,85 až 1,1 V/článek,

### 2.2.1 Nabíjecí a vybíjecí křivky alkalických akumulátorů

Na rozdíl od olověných akumulátorů není hustota elektrolytu znakem nabití akumulátoru. Přesto je třeba hustotu elektrolytu pravidelně měřit. V provozu se hustota zmenšuje a tím se zvětšuje i kapacita akumulátoru.

Napětí jednoho článku naprázdno po nabití je 1,4 až 1,48 V. Po určité době se toto napětí sníží na stálou hodnotu 1,3 až 1,4 V. Tento jev se vysvětluje rozkladem oxidů niklu a nižší oxidy a plyný kyslík. Koncentrace a teplota elektrolytu nemají na napětí téměř žádný vliv. Elektrické vlastnosti obou typů akumulátorů nejlépe objasňují nabíjecí a vybíjecí křivky na obr. 1.9.



Obr.1.9: Nabíjecí (1,2) a vybíjecí (3,4) křivky alkalických akumulátorů [5]

Napětí nikloželezného (NiFe) akumulátoru se při nabíjení rychle zvětší na 1,6 až 1,65 V (1). Při dalším nabíjení (asi po 2/3 nabíjecí doby) zůstává stálé. V závěru nabíjení se napětí opět zvětšuje až na 1,8 až 1,85 V. Nabíjecí napětí niklokadmiového akumulátoru je asi o 0,2 V menší (2), v začátku nabíjení se rychle nezvětšuje. V prvních dvou třetinách doby nabíjení se pohybuje napětí v rozmezí kolem 1,4 až 1,45 V a v poslední třetině se prudce zvýší na 1,7 až 1,8 V. U nikloželezného akumulátoru se na elektrodách již v začátku nabíjení vyvíjejí plyny, u niklokadmiového se plynů vyvíjí jen velmi málo a nejvíce až ke konci nabíjení. Energetická účinnost nikloželezného je zhruba o 10 % menší než u niklokadmiového. Vnitřní odpor alkalických akumulátorů je vyšší než je u olověných. Nikl-kadmiový má nižší vnitřní odpor než nikloželezný. Z tohoto porovnání vychází nikl-kadmiový akumulátor jako lepší volba pro použití u hnacích vozidel. [5]

## 2.2.2 Provozní závady alkalických akumulátorů

### **Snížená kapacita, výměna elektrolytu, elektrolyt**

Příčinou snížené kapacity může být znečištění elektrolytu nebo provoz při dlouhodobě zvýšených teplotách. Dále je možnost vnesení nečistot například z vody používané pro doplňování elektrolytu nebo působení oxidu uhličitého ze vzduchu proniklého do článku poškozenými či nezavřenými zátkami. Pro přípravu elektrolytu se



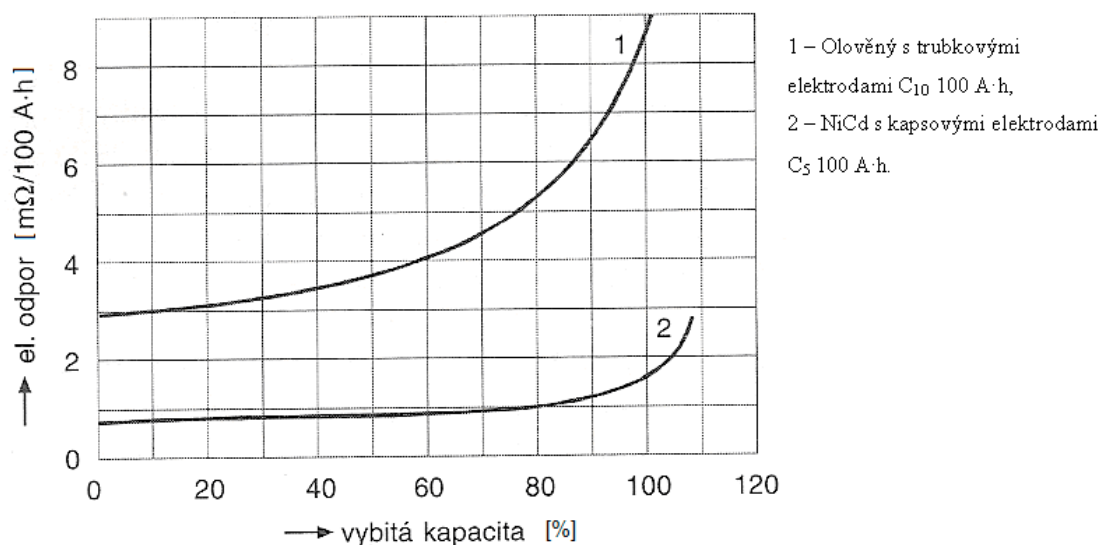
používá hydroxid draselný jako hlavní složka a hydroxid litný jako přísada, která příznivě ovlivňuje životnost kladných desek, ale poněkud zhoršuje elektrickou vodivost.

Při provozu se hromadí v alkalickém elektrolytu postupně uhličitany (zejména díky vlivu oxidu uhličitého, který se rozpouští v přidávané vodě). Je-li tento obsah příliš velký, musí se roztok elektrolytu vyměnit. Maximální přípustná koncentrace některých nečistot v hydroxidu draselného a elektrolytu je uvedena podle normy IEC 993. Četnost výměny závisí na podmínkách provozu a na jeho údržbě. Elektrolyt se vyměňuje u akumulátoru vybitého, aby nedocházelo k oxidaci kovového kadmia a železa.

Elektrolytem je 20 až 22% ní roztok hydroxidu draselného (KOH) nebo sodného (NaOH) v destilované vodě. [1]

Tab.4: Maximální přípustné koncentrace nečistot v elektrolytu [1]

Druh znečištění	Nový plnicí elektrolyt	Výměny elektrolytu za provozu nutná při dosažení hodnot
Uhličitany jako $K_2CO_3$	7,5 g/dm <sup>3</sup>	75 g/dm <sup>3</sup>
Chloridy jako KCL	0,1 g/dm <sup>3</sup>	0,2 g/dm <sup>3</sup>
Síraný jako $K_2SO_4$	0,8 g/dm <sup>3</sup>	4,0 g/dm <sup>3</sup>



Obr.2: Příklad závislosti vnitřního odporu akumulátoru na stupni vybití [1]

U otevřených akumulátorů je nutné periodicky kontrolovat elektrolyt a přidávat destilovanou vodu při jeho poklesu, aby se kompenzovaly ztráty při nabíjení. Tyto akumulátory se mohou skladovat dlouhou dobu i bez reverzibilních změn. A to v nabitém i polonabitém stavu. Ztráta kapacity během skladování se dá obnovit. Z hustoty elektrolytu nelze stanovit stupeň nabití. [1]

## 2.3 Samovybíjení a vlivy teploty u olověných a nikl-kadmiových akumulátorů.

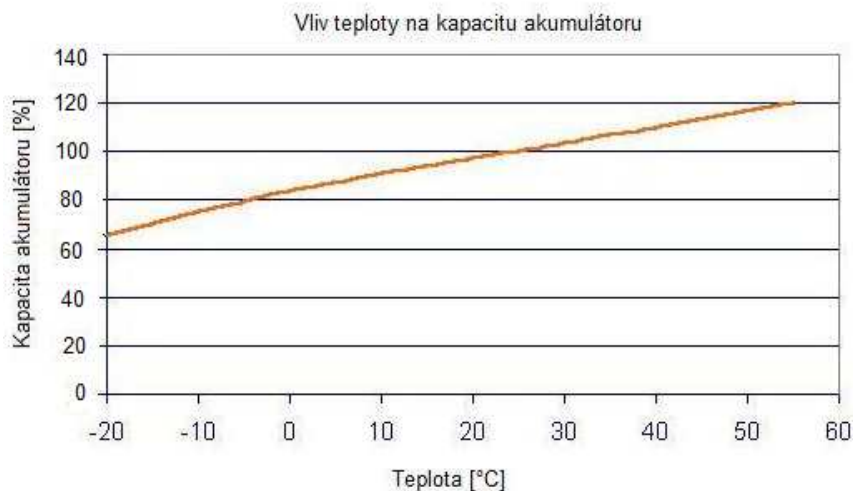
Změny teploty ovlivňují výkonnost článku, k tomuto musí být přihlédnuto při navrhování akumulátoru. Provoz při nízkých teplotách výkonnost snižuje, zatím co charakteristiky pro vyšší teploty jsou bližší charakteristikám při běžné teplotě. Vliv nízké teploty je patrnější při vyšším stupni vybití. V následujících kapitolách jsou obecné vlivy teploty a vliv samovybíjení pro olověné a nikl-kadmiové akumulátory. [5]

### 2.3.1 Olověné akumulátory

Vysoké samovybíjení může být způsobeno např. nečistotou elektrolytu i povrchu baterie, teplotou obr. 2.1 a koncentrací elektrolytu, stářím akumulátorů atd. Obě elektrody olověného akumulátoru jsou termodynamicky nestálé a v podstatě mohou reagovat s vodným roztokem za uvolňování vodíku na záporné a kyslíku na kladné elektrodě. Kromě toho může oxid olovičitý reagovat chemicky s olověnou mřížkou. Nízké teploty způsobují pokles kapacity vybíjeného akumulátoru. Změna kapacity není lineární, ale v rozsahu teplot  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  lze počítat se změnou kapacity akumulátoru podle proudového zatížení přibližně o 0,8 až 1 % na  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  od jmenovité teploty ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). [1] [3]

Literatura uvádí obecně:

- samovybíjení 30 % kapacity za měsíc (při  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
- kapacita klesá s poklesem o 0,8 až 1 % na  $^{\circ}\text{C}$  a stoupá vnitřní elektrický odpor.



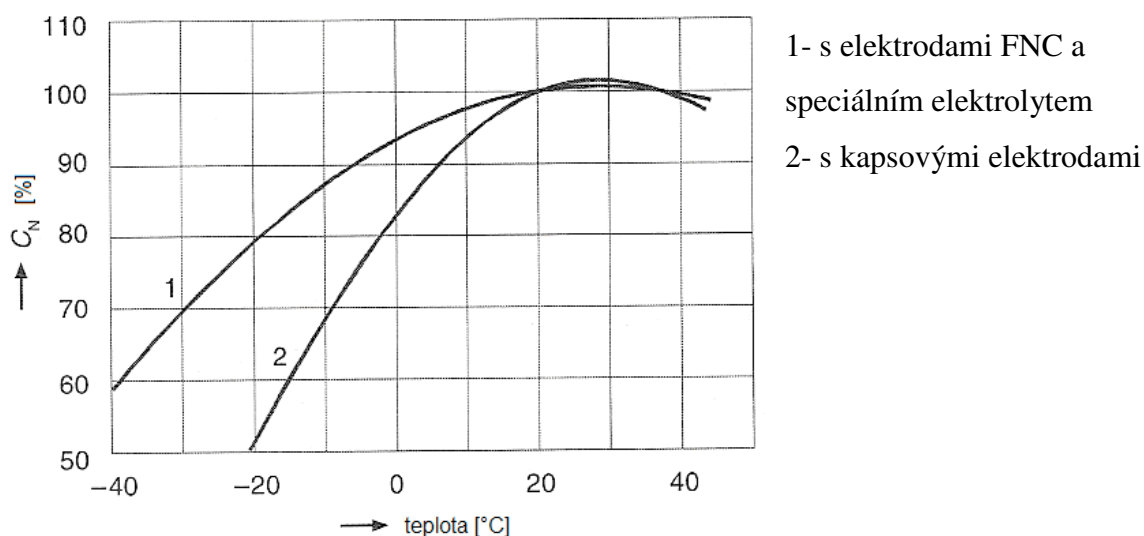
Obr. 2.1 Vliv teploty na kapacitu olověného akumulátoru [19]

### 2.3.2 Nikl-kadmiové akumulátory

Příčinou zvýšeného samovybíjení může být znečištění elektrolytu nebo provoz při dlouhodobě zvýšených teplotách. Další možnosti je velmi často způsobeno znečištěním povrchu článků usazenými solemi, které pokud jsou vlhké, jsou vodivé.[1]

Literatura uvádí obecně:

- samovybíjení 25 % kapacity za měsíc (při 20 °C),
- kapacita klesá s poklesem teploty o 0,5 % na °C a vzestup odporu je menší než u olověných akumulátorů.



Obr. 2.2 Vliv teploty na kapacitu akumulátoru (Ni-Cd) [1]

V následující tabulce je srovnání vlivu nízkých a vysokých teplot na kapacitu olověného a nikl-kadmiového akumulátoru.

Tab.5: Vlivy teploty na parametry, olověných a alkalických akumulátorů podle [1][3].

Vliv nízkých teplot	
Olověný akumulátor:	Nikl-kadmiový akumulátor
Zmenšení kapacity asi o 1 % při poklesu teploty o 1 °C. Vnitřní odpor se při poklesu teploty zvětšuje.	Zmenšení kapacity u Ni-Cd s poklesem teploty o 0,5 % na 1 °C, vnitřní odpor se při poklesu teploty zvětšuje.
Vliv vysokých teplot	
Olověný akumulátor:	Nikl-kadmiový akumulátor
Maximální teploty 45 až 55 °C (podle druhu separace). S rostoucí teplotou se kapacita zvětšuje asi o 1 % na 1 °C.	Maximální teploty trubkových a spěkaných elektrod 45 °C, u kapsových 35 až 40 °C. S rostoucí teplotou změna kapacity zanedbatelná.

### **3. Analýza podmínek udržování provozuschopnosti akumulátorů u provozovatelů drážních hnacích vozidel.**

Provozovatelé hnacích drážních vozidel používají ve svých vozidlech v současné době dva typy akumulátorů olověné, gelové a alkalické nikl-kadmiové akumulátory. Alkalické akumulátory od výrobce Saft Ferak, u některých vozidel se vyskytují akumulátory od výrobce Hoppecke a olověné, gelové od výrobce Exide.

U provozovatelů drážních hnacích vozidel se údržba provádí na základě předpisů ČD V25 „Předpis pro údržbu elektrických a motorových hnacích vozidel“.

Kdy se údržbové zásahy provádějí na základě:

- ujetých kilometrů,
- technického stavu vozidel,
- časové lhůty u vozidel s malým denním kilometrickým proběhem.

Kilometrický proběh pro účel údržby hnacích vozidel se sleduje v lokomotivních kilometrech. U hnacích vozidel zařazených do posuvu, které provádějí pravidelný posun je jedna hodina posunu přepočítávána na 5 lokomotivních kilometrů.

Ten je uveden v tomto předpise. A postup kontroly a údržby se provádí podle předpisu ČD V 98/62 „Předpis pro údržbu a opravy akumulátorových baterií železničních kolejových vozidel“. V některých případech se kontrola a údržba provádí podle pokynů výrobce akumulátoru. [6][7]

Podle tohoto předpisu se údržba dělí na:

- provozní ošetření,
- periodické prohlídky,
- periodické opravy
- plánované opravy
- neplánované opravy
- provádění změny schváleného stavu

Horní hranice kilometrického proběhu je závazná pro provádění provozních ošetření a malých periodických prohlídek. Pro provádění velkých periodických prohlídek a oprav je rozhodující technický stav hnacího vozidla. [7]

### 3.1 Údržba olověných, gelových akumulátorů – rozsah údržby:

Lhůty pro údržbu olověných, gelových akumulátorů vyplývají z ustanovení předpisu ČD V 25 „Předpis pro údržbu elektrických a motorových hnacích vozidel“. A postup kontroly a údržby se provádí podle předpisu ČD V 98/62 „Předpis pro údržbu a opravy akumulátorových baterií železničních kolejových vozidel“.

*Poznámka: Pro účely tohoto předpisu se za hnací vozidla považují i vložené a řídicí vozy ucelených elektrických a motorových jednotek.*

Rozsah údržby a oprav olověných, gelových akumulátorů podle předpisu ČD V 98/62 je následující:

a) provozní ošetření O:

- neprovádí se žádné práce

b) malá periodická prohlídka M:

ba) vizuální kontrola akumulátoru, eventuálně její očištění.

bb) kontrola spojek a přírodních kabelů.

bc) kontrola napětí článků (bloků) a celkové napětí akumulátoru.

c) velká periodická prohlídka V:

baterie se ponechá ve vozidle, provedou se úkony podle odstavce b) a dále se provede:

ca) kontrola izolačního stavu akumulátoru

cb) kontrola stavu nosiče dílčí akumulátoru.

Přesný technologický postup kontroly je uveden v tomto předpise. V případě, že je akumulátor v záruce, je třeba také postupovat podle podmínek výrobce. V dalších kapitolách je stručně uvedena technologie údržby podle podmínek výrobce akumulátoru. [6]

#### Vybíjení gelového akumulátoru

Větrací otvory bateriového nosiče se nesmějí při vybíjení uzavírat ani zakrývat. Rozpojování nebo spojování elektrických spojů (např. zástrček) se smí provádět pouze v nezátíženém stavu (bez proudu) baterie. Vybití větší než 80 % jmenovité kapacity je považováno za hluboké vybití a není proto doporučeno. Zkracuje životnost baterie. Konečné vybíjecí napětí, při kterém je doporučeno odpojit akumulátor je 1,6 – 1,8 V/čl (V na článek) a je závislé na charakteristické (době) vybíjení. [8]

Akumulátor se musí, co nejdříve po vybití nabít a nesmí se nechat po delší dobu ve vybitém stavu, dochází k sulfataci desek a následnému snížení kapacity. Pokud je akumulátor hluboce vybitý nebo ponechán ve vybitém stavu provádí se vyrovnávací nabíjení. [8]

### Nabíjení gelového akumulátoru

Nabíjení akumulátoru se smí nabíjet pouze stejnosměrným proudem a napětím. Pokud hodnota střídavé složky nabíjecího proudu přesahuje 5 A na 100Ah jmenovité kapacity akumulátoru je třeba konzultovat vhodnost nabíjecí soustavy se zástupcem výrobce akumulátoru. K nabíjení akumulátoru použijte stejnosměrný zdroj s nabíjením konstantním napětím (U-charakteristika), s nabíjením konstantním proudem s přepnutím na nabíjení konstantním napětím (IU-charakteristika) nebo s charakteristikou IUoU popř. IUia nabíjecí charakteristikou. Nabíjecí proud není nutné omezovat, doporučená hodnota je  $10 \div 30$  A na 100Ah jmenovité kapacity akumulátoru. [8]

### Nastavení nabíjení gelového akumulátoru

Optimální hodnota nastaveného udržovacího napětí je  $2,33 \text{ V/čl} \pm 1\% \times \text{počet sériově řazených článků akumulátoru}$ . Maximální tolerance kolísání napětí během nabíjení je  $\pm 10\%$ . Při nastavování udržovacího napětí se měří hodnota vždy na vývodech akumulátoru, zamezí se tak vzniku chyby vlivem úbytku napětí na vodičích mezi nabíječem a akumulátorem. Jsou-li teploty vyšší než  $40^\circ\text{C}$  nebo nižší než  $15^\circ\text{C}$ , je doporučeno (pokud to nabíjecí soustava umožňuje) regulovat stálé napětí nabíječe v závislosti na teplotě = teplotní kompenzace nabíjení. Zde se použije korekční faktor  $0,005 \text{ V/článek na každý } ^\circ\text{C}$  rozdílný od jmenovité teploty akumulátoru, tj. se zvyšující teplotou se snižuje nabíjecí napětí a naopak. Pokud nabíječ vybaven přepínačem pro zimní a letní provoz, provede se nastavení obou hladin nabíjení podle průměrné provozní teploty v těchto obdobích. Pokud nabíječ není vybaven kompenzací teploty, provádí se nastavení na průměrnou roční provozní teplotu akumulátoru s navýšením o  $0,05 \text{ V}$  na  $2\text{V}$  článek pro zajištění plné hodnoty nabití v zimních měsících. [8]

### **Vyrovnávací nabíjení (externím zdrojem)**

Vyrovnávací nabíjení slouží k zajištění dlouhé životnosti akumulátoru a udržení jeho kapacity. Vyrovnávací nabíjení se provádí v návaznosti na normální nabíjení.

Vyrovnávací nabíjení se provádí:

- po hlubokém vybití
- po nevhodném nabíjení
- při příliš vysokém rozdílu napětí na jednotlivých blocích (článcích) baterie

### **Provozní teplota a elektrolyt gelového akumulátoru**

Teplota akumulátoru (elektrolytu) 30 °C se označuje jako jmenovitá teplota. Vyšší teploty zkracují životnost, nižší teploty snižují dostupnou kapacitu. Nabité akumulátory je možné trvale provozovat v teplotním rozsahu -35 až +45 °C. Vyšší teploty nejsou dovoleny jako trvale provozní, krátkodobě může být akumulátor provozován při teplotě nad +50 °C, dochází zde však k zrychlenému stárnutí akumulátoru (zkracování životnosti). Optimální provozní teplota baterie je 15 °C ÷ 40 °C. Vyšší trvalé provozní teploty zkracují životnost, nižší trvalé provozní teploty snižují dostupnou kapacitu. Elektrolytem je kyselina sírová, zpevněná v nestékavém gelu kyseliny křemičité. Hustota elektrolytu není měřitelná. Do akumulátoru se v žádném případě, po celou dobu její životnosti, nedoplňuje destilovaná voda. Jako uzavírací zátky se používají přetlakové, jednocestné ventily, které není možné otevřít bez jejich poškození. Otevření vede k jejich netěsnosti a následnému vysychání akumulátoru. [8]

### **Přehled používaných druhů olověných, gelových akumulátorů**

#### **Startovací akumulátory**

Tyto akumulátory se vyznačují malým vnitřním odporem, takže jsou schopny dodat vysoký startovací proud. Akumulátory těchto typů se používají především u motorových hnacích kolejových vozidel.

#### **Akumulátory záložní**

Tyto akumulátory napájejí elektrickou síť malého napětí pro železniční vozy a slouží jako pomocné zdroje elektrické energie u hnacích kolejových vozidel.

#### **Systém značení akumulátorů**

a) značení článků

2 EPzV 110

2.....počet kladných elektrod v článku (2)  
 E.....kód výrobce baterií (EXIDE)  
 Pz.....konstrukce kladných elektrod (trubková, pancéřová)  
 V.....konstrukce akumulátoru (ventilem řízený článek, gelové provedení)  
 110.....jmenovitá kapacita akumulátoru C<sub>5</sub> (110 Ah)  
 b) značení bloků  
 SRP 12V 175 A  
 S.....konstrukce kladných elektrod (mřížková deska)  
 R.....konstrukce akumulátorů (ventilem řízený blok, gelové provedení)  
 P.....typ akumulátoru (startovací)  
 12V.....jmenovité napětí akumulátoru C<sub>5</sub> (175 Ah)  
 A.....provedení pólových vývodů (A-pól)

c) sada akumulátorových baterií je označena jmenovitým napětím celé sady akumulátorů, například 24V 8 EPzV 440, tj. baterie se jmenovitým napětím 24 V a jmenovitou kapacitou 440 Ah. [8]

### 3.2 Údržba alkalických nikl-kadmiových akumulátorů - rozsah údržby

Lhůty pro údržbu nikl-kadmiových akumulátorů hnacích vozidel vyplývají z ustanovení předpisu ČD V 25 "Předpis pro údržbu elektrických a motorových hnacích vozidel". A postup kontroly a údržby se provádí podle předpisu ČD V 98/62 „Předpis pro údržbu a opravy akumulátorových baterií železničních kolejových vozidel“.

*Poznámka: Pro účely tohoto předpisu se za hnací vozidla považují i vložené a řídicí vozy ucelených elektrických a motorových jednotek.*

Rozsah údržby a oprav nikl-kadmiových akumulátorů podle předpisu V 98/62 je následující:

- a) provozní ošetření 0:
- aa) vizuální kontrola akumulátoru;
- ab) kontrola spojek a přívodních kabelů;
- ac) kontrola a případná úprava výšky hladiny elektrolytu,



b) malá periodická prohlídka M, velká periodická prohlídka V a vyvazovací oprava VY:

ba) očištění a kontrola technického stavu přístupných částí baterie;

bb) kontrola hustoty elektrolytu;

bc) kontrola stupně karbonizace elektrolytu. Při nevyhovující karbonizaci se provede výměna elektrolytu, demontáž článků z nosičů a nátěr nosičů;

bd) kontrola napětí článků při zatížení. V případě výměny elektrolytu se provede kapacitní zkouška.;

be) dočištění přístupných míst od rzi a nečistot, konzervace kovových částí akumulátoru;

bf) kontrola izolačního stavu akumulátoru;

bg) označení akumulátoru po opravě.

c) při periodických opravách hlavní H a generální G se provedou úkony podle zásad, který je uveden v předpise, výměna elektrolytu, rozpojení a vyjmutí článků z nosičů a nátěr nosičů akumulátoru. Zjištěné závady se odstraňují podle postupů, který uvádí tento předpis.

Přesný technologický postup kontroly je uveden v tomto předpise. V případě, že je akumulátor v záruce, je třeba také postupovat podle podmínek výrobce. V další kapitolách je stručně uvedena technologie údržby podle podmínek výrobce akumulátoru. [7]

### Počáteční nabíjení, uvedení do provozu

Je důležité, aby první nabíjení bylo provedeno důkladně. Výhodnější je použít nabíjení konstantním proudem. Akumulátorové články skladované méně než rok a akumulátorové články skladované déle než rok nebo články, jež byly naplněny po dodání ve vybitém prázdném stavu, se nabíjí prodlouženým nabíjením podle postupu výrobce. Je-li to nutné, nejdříve po 4 hodinách od konce nabíjení se upraví hladina elektrolytu na vrchní úroveň přidáním elektrolytu. Postupuje se dle pokynu výrobce akumulátoru. [9]

Není-li možné nabíjení konstantním proudem, nabíjí se akumulátor konstantním napětím 20 až 30 hodin při napětí 1,65 V/článek (při proudovém omezení  $I = 0,2 C_5$ ). Při nižší hodnotách se nabíjí delší dobu. [9]

### **Instalace Nikl-kadmiového akumulátoru.**

Instalace akumulátoru se provádí v suché a čisté místnosti tak, aby byla chráněna před přímým slunečním a denním světlem a před horkem. Akumulátor poskytne nejvyšší výkon a nejdelší životnost, pokud se bude pohybovat teplota mezi +10 °C až +35 °C. Koncentrace standardního elektrolytu je taková, aby baterie mohla fungovat i v teplotních extrémech -20 °C až +60 °C. Musí se dbát na to, aby instalace akumulátoru byla provedena v souladu s požadavky norem a předpisů platných v místě instalace.[9]

### **Vybíjení nikl-kadmiového akumulátoru**

Při neúplném vybíjení během provozu dochází následkem paměťového efektu k poklesu kapacity Ni-Cd akumulátoru, prodlužuje se ale jejich životnost. Každý typ akumulátoru má vlastní vybíjecí křivky a zpravidla se uvádí i vybíjecí křivky pro různé provozní teploty. Podle těchto křivek se dá posoudit, které typy akumulátorů jsou vhodné pro různé vybíjecí proudy. [9]

Vybíjení na nižší konečné napětí, než udává výrobce, není žádoucí, protože hluboké vybíjení poškozuje akumulátory. Konečné vybíjecí napětí, při kterém je doporučeno odpojit akumulátor je 1,0 V/čl (V na článek). Výhodou Ni-Cd akumulátoru je možnost ponechat akumulátory i dlouhodobě ve vybitém stavu. [9]

### **Nabíjení nikl-kadmiového akumulátoru**

#### **Nabíjení konstantním proudem**

Normálně se nabíjí celkovým nábojem velikosti 150 procent odebrané kapacity v Ah normálním nabíjením velikosti proudu a po dobu dle tabulky v příloze.

Při pravidelném vybíjení jmenovité kapacity se doporučuje po každých 10 – 12 cyklech zesílené nabíjení podle tabulky v příloze.

Při nepravidelném se doporučuje nejméně jednou za měsíc prodloužené nabíjení podle tabulky v příloze. Toto prodloužené nabíjení se doporučuje také vždy po vybití článků pod konečné vybíjecí napětí 1,0 V. [9]

#### **Nabíjení konstantním napětím**

Kontinuální paralelní provoz s napáječem s občasným vybitím akumulátoru

**Nižší napětí pro dvoustupňové nabíjení:**

Nižší (udržovací) úroveň:

1,42 V / článek pro typ L

1,40 V / článek pro typy M a H

Vyšší úroveň:

1,47 – 1,70 V / článek pro typ L

1,45 – 1,70 V / článek pro typy M a H

**Doporučená napětí pro jednostupňové nabíjení:**

1,43 – 1,50 V / článek

Přerušovaný provoz s krátkodobým silnoproudým vybíjením nebo delším slaboproudým vybíjením:

Doporučená napětí pro nabíjení - 15 hodin nabíjení při 1,65 V / článek.

Aby nedocházelo k vysoké spotřebě vody, je vhodné použít nižší hodnotu nabíjecího napětí akumulátorového článku u jednoúrovňového i dvouúrovňového nabíjení. Optimální nastavení napěťové úrovně nabíječe závisí na provozním režimu akumulátoru a může se v jednotlivých případech lišit. Při nabíjení nesmí teplota elektrolytu přestoupit 40°C. V takovém případě je nutno nabíjení přerušit a pokračovat v něm po poklesu teploty. Nabíjí se při uzavřených zátkách (typ s keramickou vložkou). Starší typ zátek (s pryžovým těsněním na vrcholu zátky) je nutno mít při nabíjení otevřené.[9]

**Typy alkalických akumulátorů u ČD**

Akumulátorové články z produkce Saft Ferak jsou rozděleny do typových řad pro rychlé, střední a pomalé vybíjení.

**Řada KPH**

Se svými velmi tenkými deskami jsou články z této řady vhodné pro krátkodobé vybíjení relativně vysokým proudem, obvykle s trváním do 30 minut.

**Řada KPM**

Řada KPM je určena pro elektrickou zátěž v rozsahu 30 minut až 3 hodiny, případně smíšené zátěže, kombinující vysoké a nízké proudy. Aplikace mohou vyžadovat časté i občasné vybíjení. Patří mezi ně:

**Řada KPL**

Tato řada je navržena jako spolehlivý energetický zdroj pro dlouhé časy vybíjení. Proud je ve srovnání s celkovou akumulovanou energií obvykle relativně nízký a k vybíjení nedochází často.

### **Značení alkalických akumulátorů**

Pro snadnější orientaci byl v rámci IEC (mezinárodní normalizační komise pro elektrotechniku) zaveden jednotný systém označování. Vychází se z předpokladu, že pro uživatele je důležité označení elektrochemického systému a druh elektrod včetně rozlišení podle velikosti vybíjecího proudu. Pak je snadné přiřadit oblasti užití článků.

Význam značení je uveden na příkladu K P L 10 P

- K – je elektrochemický systém:      nikl-kadmiový – K,  
    nikl-železitý – F,  
    stříbro-zinkový – S;
- P – druh elektrod:                        kapsové – P,  
    sintrované – S  
    jedna polarita kapsová, druhá sintrovaná – C,  
    plastem pojené – X;
- L – vybíjecí režim: C/10 – L, C/5 – M, C/1 – H, ještě větší X;
- 10 – jmenovitá kapacita v Ah, popř. pořadí velikosti v tabulce normy;
- P – akumulátorová nádoba z plastu (ocelové nádoby bez písmene) [1]

### **3.3 Použití různých akumulátorů v kolejových vozidlech ČD**

Zálohování elektrických systémů kolejových vozidel je velice náročný provoz, při kterém na akumulátory působí zejména tyto faktory:

- Změny provozních teplot od -25 v zimě po více než 45 °C v létě,
- Nestabilní napětí a proud nabíječů starších vozidel (platí pro 95 % osobních vozů)
- Mechanické rázy vibrace, vyvolané provozem,
- Hluboké vybíjení (např. při odstavení se zapnutým osvětlením)
- Tradičně prováděna nebo (neprováděna) údržba

Alkalické akumulátory na bázi niklu a kadmia se s těmito podmínkami dokáží velmi dobře vypořádat. Tato desítkami let prověřená technologie navíc doznala za poslední dobu mnohých vylepšení směrem k lepším elektrickým vlastnostem, snadnější údržbě a prodloužené životnosti (12-15 let). Alkalické akumulátory jsou s porovnáním s olověnými akumulátory odolnější proti přebíjení a nepečlivé obsluze. Mají delší

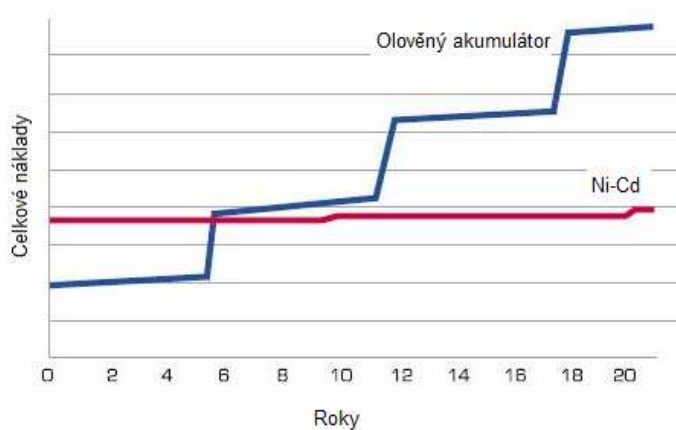
životnost než olověné akumulátory. Mají lepší výkon a větší rozsah teplot. Jejich nevýhodou je náročnější údržba a vyšší cena.

V posledních letech se dosazují do kolejových vozidel olověné, gelové akumulátory. Hlavní důvod se uvádí především, že vyžadují nulové nároky na údržbu. Ovšem při přečtení návodu k obsluze od prakticky kteréhokoliv výrobce olověných, gelových akumulátorů obsahují celou řadu nutných pracovních podmínek, jejichž realizace je při provozu ve vozidlech ČD technicky nemožná nebo ekonomicky nereálná.

- Normální provoz gelového akumulátoru se odehrává v teplotním rozmezí +15 až +35°C. „Teplejší akumulátory se nesmí nabíjet, chladnější ano, ale nedosáhne se řádného nabití“. Mimo dané rozmezí je potřeba regulovat napětí v závislosti na teplotě, tzv. teplotní kompenzace.
- Nabíjecí napětí gelového akumulátoru je potřeba regulovat v toleranci +/- 1%. To znamená rotační nabíjecí zdroje (alternátor, dynamo) nemohou v žádném případě této odchylky dosáhnout (pro nabíjení např. 28 V je potřeba se udržet mezi 27,72 – 28,28 V).
- Většina nabízených olověných, gelových akumulátorů není určena pro železniční provoz. Na originálních cizojazyčných dokumentech je v odstavci Aplikace vypsáno „sklady – vysokozdvizné vozíky, čistící stroje, potravinářství, farmacie.“, ovšem nabízeny jsou jako akumulátory pro kolejová vozidla.
- Maximální dovolené vybití je 80 % a poté se musí gelový akumulátor ihned nabít. Nesmí být delší dobu ve vybitém stavu (sulfatace).
- Do gelového akumulátoru se nesmí dolévat destilovaná voda. Je potřeba provádět vyrovnávací nabíjení, které trvá až 48 hodin, v jeho průběhu hlídat teplotu a napětí jednotlivých článků a používat výrobcem schválený nabíječ.

Nedodržení návodu k obsluze má většinou za následek ztrátu záruky. Namísto plánované úspory nákladů na údržbu tak výsledkem může být rozsáhlá ekonomická ztráta, způsobena krátkou životností olověných, gelových akumulátorů v těžkých provozních podmínkách. [10]

Porovnání provozních nákladů olověné a nikel-kadmiové akumulátoru za 20let.



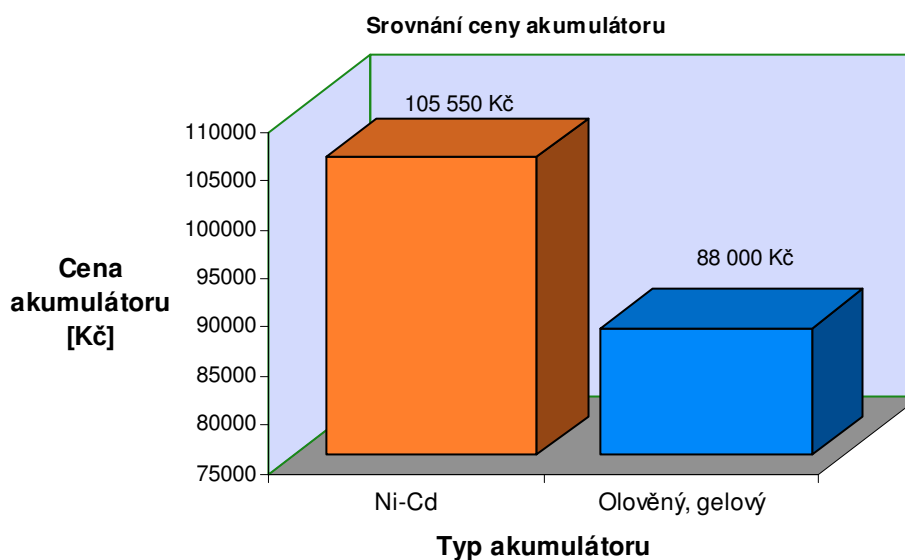
Obr.2.3: Příklad porovnání nákladu na provoz akumulátoru podle výrobce [16]

Srovnání nákladu na pořízení olověného, gelového akumulátoru a nikel-kadmiového akumulátoru ve stejném provedení: [11]

- kapacita 120 Ah,
- napětí 48V.

Nikel-kadmiový akumulátor: (Cena zhruba: 105 550 Kč)

Olověný, gelový akumulátor: (Cena zhruba: 88 000 Kč)



Obr.2.4: Srovnání nákladů na pořízení akumulátoru

Úspora v případě vybavení hnacího vozidla olověným, gelovým akumulátorem činí zhruba: 17 550 Kč.

## Zneškodňování akumulátorů

Použité olovené a nikl-kadmiové akumulátory podléhají zvláštním předpisům o recyklaci odpadů. Akumulátory nesmí být likvidovány společně s průmyslovým nebo komunálním odpadem. Akumulátory představují recyklovatelný produkt a musí se odevzdat do recyklačního procesu. Způsob zpětného odběru a likvidace akumulátorů je stanovena zákonem č. 106/2005 §. 38 bod 3,4,5. Povinnost informovat a zajistit zpětný odběr prodaných akumulátorů má osoba nebo organizace, která akumulátory vyrábí nebo uvádí na trh v České republice. U provozovatelů se o recyklaci stará specializovaná firma. [11] [8]

## **4. Návrh řešení pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů**

V této práci se zabývám možnostmi udržení provozuschopnosti akumulátorů bez nutnosti demontáže akumulátorů z hnacího vozidla a také bez nutnosti zásahu do konstrukce vozidla. V současné době se při vybití akumulátorů na hnacím vozidle, hnací vozidlo pomocí posunovací lokomotivy odtáhne do haly k nabíjecímu zařízení. Toto je velmi zdoluhavé a je nutno více pracovníků pro zajištění tohoto procesu. V tomto návrhu je možnost zabránění tohoto zdoluhavého procesu. Vybral jsem provozovatele SOKV Ostrava, kde provozují tyto typy hnacích vozidel řady lokomotiv 110, 111, 130, 163, 181, 182, 363, 704, 708, 730, 731, 731, 740, 742, 749, 751, 771 a 799. [11]

Motorová lokomotiva, elektrická lokomotiva a veškerá elektrická zařízení kolejových vozidel pracují během provozu v náročných podmínkách. Výkyvy teplot mají přímý vliv na provoz. Při náročných podmínkách se výkon akumulátorů snižuje a degradace se urychluje. V dnešní době se očekává vysoká bezporuchovost a dobrá udržovatelnost za každých okolností.

Při provozování akumulátorů u drážních hnacích vozidel dochází k vybíjení akumulátorů nejvíce během:

- zimního období,
- při dlouhodobém odstavení hnacího vozidla z provozu.

Částečně tomuto jevu lze předejít preventivní údržbou akumulátorů. Popřípadě vhodnou volbou akumulátorů. U provozovatelů se používají v současné době dva typy akumulátorů:

- olověné, gelové akumulátory,
- alkalické nikl-kadmiové.

Při provozu akumulátoru je třeba zajistit, aby v něm nekleslo napětí pod minimální úroveň, která je stanovena výrobcem akumulátoru pro:

- olověné, gelové akumulátory 1,6 V/článek
- alkalické nikl-kadmiové 1,0 V/článek.

V návrhu jsou 4 možnosti realizace udržení provozuschopnosti akumulátorů:



#### Návrh udržení provozuschopnosti.

- 1) trakčním vedením (elektrická hnací vozidla),
- 2) nabíjecí stanice (elektrická a motorová vozidla),
- 3) přenosné nabíjecí zařízení (elektrická a motorová vozidla),
- 4) monitorování stavu akumulátoru (elektrická a motorová vozidla).

### **4.1 Nabíjení akumulátorů, gelový a nikl-kadmiový**

Nabíjení se obnovuje elektrický náboj vybitých akumulátorů. Neuvádí-li výrobce pro některý typ akumulátoru jiný nabíjecí proud, používají se u olověných akumulátorů zpravidla nabíjecí proudy 0,1 až 0,3  $C_n$  (A). Pro nabíjení nikl-kadmiových se nabíjení provádí proudem 0,2  $C_n$  (A). Pro nabíjení gelových akumulátorů výrobce doporučuje 10 – 30 A na 100 Ah kapacity akumulátoru. U nikl-kadmiových je doporučené nabíjení podle typových listů k akumulátoru, kde je dán nabíjecí proud pro konkrétní typ akumulátoru. [1][8][9]

#### Doba nabíjení akumulátoru:

$$t_{nab} = \frac{k \cdot C_n}{I_n} [h] \quad (1.)$$

Kde:

$t_{nab}$ ..... nabíjecí doba [h]

$k$ ..... nabíjecí faktor [-]

$C_n$ ..... jmenovitá kapacita [A·h]

$I_n$ ..... nabíjecí proud [A]

#### Určení doby nabíjení akumulátoru:

Pro výpočet doby nabíjení je třeba znát procento vybití akumulátoru. Podle toho se určí doba k nabití zpět na 100 % kapacity. Vlivem samovybíjení a vlivem teploty klesá kapacita. Při poklesu kapacity na 70 % se bude provádět nabíjení zpět na plné nabití. Doba nabíjení bude u obou dvou akumulátorů stejná. Pro nabíjení olověných, gelových akumulátorů je nabíjecí faktor 1,15 a pro Ni-Cd je nabíjecí faktor 1,15.

#### Výpočet doby nabíjení pro 120 Ah akumulátor.

Podle vzorce (1.) vypočtu dobu nabíjení akumulátoru pro, gelové a Ni-Cd akumulátory:

$$t_{nab} = \frac{1,15 \cdot 120}{24} [h]$$

$$t_{nab} = 5,75 \text{ h}$$

$$5,75 \text{ h} \dots\dots\dots 100 \%$$

$$0,057 \text{ h} \dots\dots\dots 1 \%$$

Při vybití na 70 %, musím nabít zpět 30 % kapacity, to znamená:

$$0,057 \cdot 30 = 1,71 \text{ (h) doba nabíjení jednoho akumulátoru.}$$

$$T_{nab} = t_{nab} + T_{zpz} \text{ [h]} \quad (1.1)$$

Kde:

$T_{nab}$ ....celková doba nabíjení akumulátoru [h]

$T_{zpz}$ .... technologická doba před a po nabíjení akumulátoru [h]

$t_{nab}$ .... doba nabíjení akumulátoru [h]

Celková doba nabíjení jednoho akumulátoru:

Podle vzorce (1.1) vypočtu celkovou dobu nabíjení jednoho akumulátoru s technologickou přípravou pro připojení k nabíječi nebo troleji. Technologická doba je stanovena na 20 min (připojení akumulátoru k nabíječi a poté jeho odpojení od nabíječe).

$$T_{nab} = 1,71 + \frac{20}{60} \text{ [h]}$$

$$T_{nab} = 2,05 \text{ h}$$

Pokles kapacity akumulátoru vlivem teploty a samovybíjení:

Samovybíjení je chemická reakce probíhající bez připojeného spotřebiče. Pro tento výpočet vycházím z literatury, která je uvedena v kapitole 2.3 a kde je popsán pokles kapacity pro olověné a nikl-kadmiové akumulátory. Pro přesný pokles kapacity je potřeba v praxi provést měření.

$$P_{kap} = C_n - \left[ \left( \frac{C_n}{100} \right) \cdot P_v \right] (\%) \quad (1.2)$$

Kde:

$P_{kap}$ ..... pokles kapacity [%]

$C_n$ ..... kapacita zdroje [Ah]

$P_v$ ..... procento vybíjení [-]

Výpočet pro pokles kapacity u olověného akumulátoru, z 80 % kapacity na 79,20 %.

Podle vzorce (1.2).

$$P_{kap} = 80 - \left[ \left( \frac{80}{100} \right) \cdot 1 \right]$$

$$P_{kap} = 79,20 \%$$

Ukázka vzorového výpočtu poklesu kapacity gelového akumulátoru a nikl-kadmiového akumulátoru pro teplotu 0 °C.

Tab.6: Gelový akumulátor pokles kapacity při teplotě 0 °C.

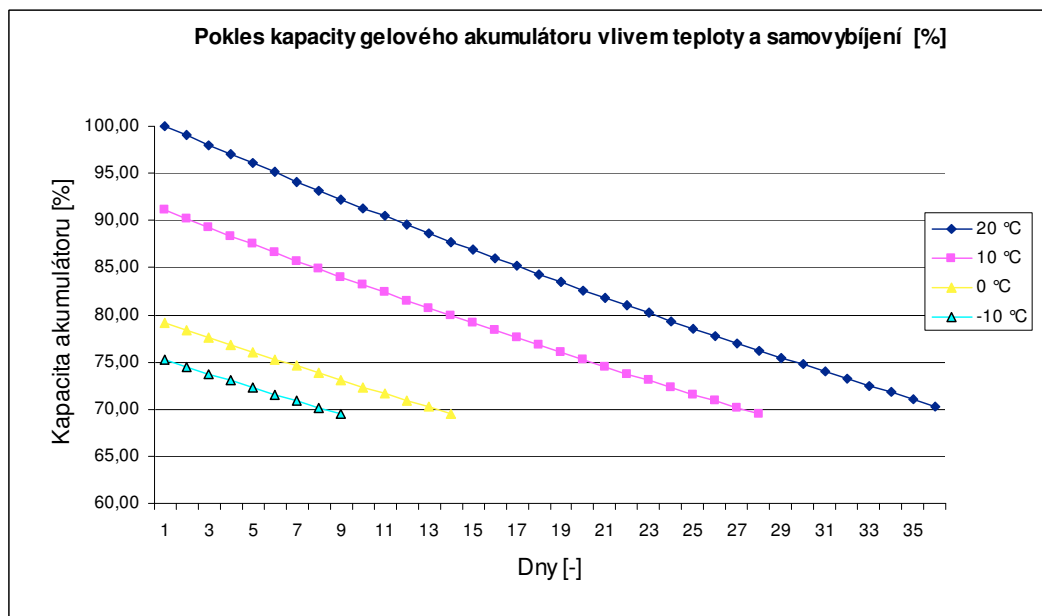
Dny	Kapacita (%)	Pokles kapacity (%)
1	80,00	1
2	79,20	1
3	78,41	1
4	77,62	1
5	76,85	1
6	76,08	1
7	75,32	1
8	74,57	1
9	73,82	1
10	73,08	1
11	72,35	1
12	71,63	1
13	70,91	1
14	70,20	1
15	69,50	1

Tab.7: Nikl-kadmiový akumulátor pokles kapacity při teplotě 0 °C.

Dny	Kapacita (%)	Samovybíjení (%)
1	90,00	0,83
2	89,25	0,83
3	88,51	0,83
4	87,78	0,83
5	87,05	0,83
6	86,33	0,83
7	85,61	0,83
8	84,90	0,83
.....	.....	.....
23	74,92	0,83
24	74,30	0,83
25	73,68	0,83
26	73,07	0,83
27	72,47	0,83
28	71,86	0,83
29	71,27	0,83
30	70,68	0,83
31	70,09	0,83

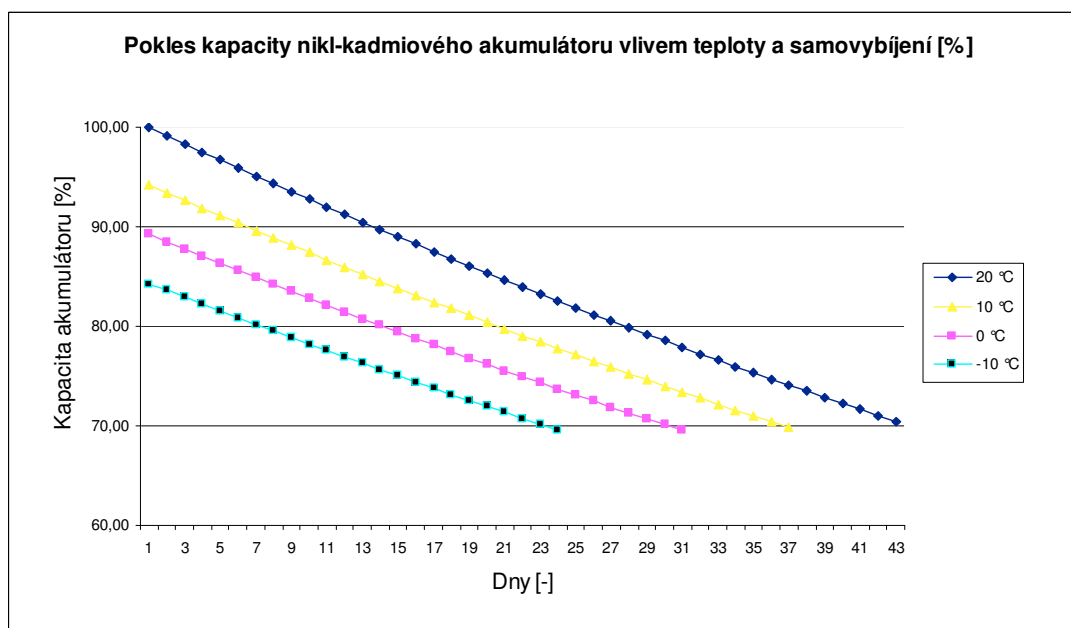
Při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  je pokles kapacity na 70 % u gelových akumulátorů za 14 - 15 dní a u nikl-kadmiových za 31 dní. Při poklesu na 70 % kapacity se provede nabíjení zpět na 100 % kapacity.

Pokles kapacity gelového akumulátoru vlivem teploty a vlivem samovybíjení je na obrázku 2.5. Pro teploty (20, 10, 0,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



Obr.2.5: Pokles kapacity gelového akumulátoru pro teploty (20, 10, 0,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Pokles kapacity nikl-kadmiového akumulátoru vlivem teploty a vlivem samovybíjení je na obrázku 2.6. Pro teploty (20, 10, 0,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



Obr.2.6: Pokles kapacity nikl-kadmiového akumulátoru pro teploty (20, 10, 0,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### Počet nabíjecích míst u provozovatele SOKV Ostrava:

Provozovatel SOKV Ostrava provozuje celkem 168 hnacích vozidel. Motorových hnacích vozidel má k dispozici 66 a elektrických hnacích vozidel provozuje 102. Nebyly provozovatelem zadány hodnoty využití vozidel. Po konzultaci s vedoucím práce bylo zvoleno využití vozidel pro dva případy (90 % využití, a 70 % využití) hnacích vozidel tedy 10 % a 30 % vozidel bude odstaveno. Výpočet je podle vzorce (1.3). Denní časový fond nabíjecího stanoviště je zvolen na 24 hodin. Z důvodu maximálního využití nabíjecích zařízení. [11]

#### **Počet nabíjecích míst:[14]**

$$S_{zp} = \frac{\sum T_{zpi}}{F_{vs}} \times \alpha \times \beta \quad [-] \quad (1.3)$$

Kde:

$S_{zp}$ .....počet nabíjecích míst [-]

$T_{zpi}$ .....doba nabíjení jednoho vozidla [h]

$F_{vs}$ .....denní časový fond nabíjecího stanoviště [h]

$\alpha$ ..... koeficient současných vjezdů a obsazení nabíjecího stanoviště [-]

$\beta$ ..... koeficient nepravidelnosti nabíjení [-]

#### Koeficienty $\alpha$ a $\beta$

Jsou koeficienty nerovnoměrnosti. Protože nebyly tyto parametry poskytnuty provozovatelem, byly zvoleny po konzultaci s vedoucím práce. Pro elektrické hnací vozidla jsou zvoleny 1,3 a pro motorové a elektrické 1,1. Pro konkrétní výpočty musí být změřeny, popřípadě statisticky zvoleny.

## **4.2 Návrh stání s trakčním vedením pro elektrická hnací vozidla**

Jednou z možností je připojení vozidla v pravidelném intervalu k trakčnímu vedení. Dobití akumulátoru je po zapnutí vlastního generátoru ve vozidle. Pro konkrétní vozidla musí být změřeny nebo určeny podle nabíjecí charakteristiky (dynama, popřípadě alternátoru). Pro toto dobíjení je třeba dodržovat předpisy např. Předpis V2 „Předpis pro lokomotivní čety“, kde jsou podmínky, které se musí dodržovat při odstavení hnacího vozidla. Toto dobíjení mohou provádět zaměstnanci s průkazem pro způsobilost k obsluze hnacího vozidla.

Počet nabíjecích míst:

Celkem pro 102 elektrických hnacích vozidel.

90 % využití:

$102 \cdot 0,9 = 91,8 \div 92$  vozidel je v provozu a 10 vozidel odstaveno.

70 % využití:

$102 \cdot 0,7 = 71,4 \div 72$  vozidel jezdí v provozu a 30 vozidel odstaveno.

Tab.8: Výpočet počtu míst pro trakční vedení

Pro 90 % využití (10 % odstaveno)	Pro 70 % využití (30 % odstaveno)
$S_{zp} = \frac{2,05 \cdot 10}{24} \cdot 1,3 \cdot 1,3$	$S_{zp} = \frac{2,05 \cdot 30}{24} \cdot 1,3 \cdot 1,3$
$S_{zp} = 2$ místa	$S_{zp} = 5$ míst

**Výpočet délky stání podle [14]:**

$$L_1 = n_i \cdot l_i + (n_i - 1) \cdot b \quad [\text{m}] \quad (1.4)$$

$$L_2 = n_i \cdot l_i + (n_i - 1) \cdot b + 2 \cdot a \quad [\text{m}] \quad (1.5)$$

Kde:

a – délka výhybky po námezník [m],

b – vzdálenost mezi nárazníky vozidel [m],

$L_1$  – délka odstavné koleje [m],

$L_2$  – stavební délka odstavné koleje [m],

$l_i$  – délka vozidla i-té řady [m],

$n_i$  – počet hnacích vozidel i-té řady odstavených na jedné koleji [-].

Délka stání pro 2 a 5 nabíjecích míst podle vzorce (1.4 a 1.5):

Zvoleny hodnoty:

a = 1m, b= 1 m,  $n_i = 5$  ,  $l_i = 18,8$  m

Pro 2 místa:

$$L_1 = 2 \cdot 18,8 + (2 - 1) \cdot 1 = 38,6 \text{ m}$$

$$L_2 = 2 \cdot 18,8 + (2 - 1) \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 40,6 \text{ m}$$

Pro 5 míst:

$$L_1 = 5 \cdot 18,8 + (5 - 1) \cdot 1 = 98 \text{ m}$$

$$L_2 = 5 \cdot 18,8 + (5 - 1) \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 100 \text{ m}$$

Bylo vypočteno:

Pro 2 místa:

- délka odstavné koleje  $L_1 = 38,6$  m,
- stavební délka odstavné koleje  $L_2 = 40,6$  m.

Pro 5 míst:

- délka odstavné koleje  $L_1 = 98$  m,
- stavební délka odstavné koleje  $L_2 = 100$  m.

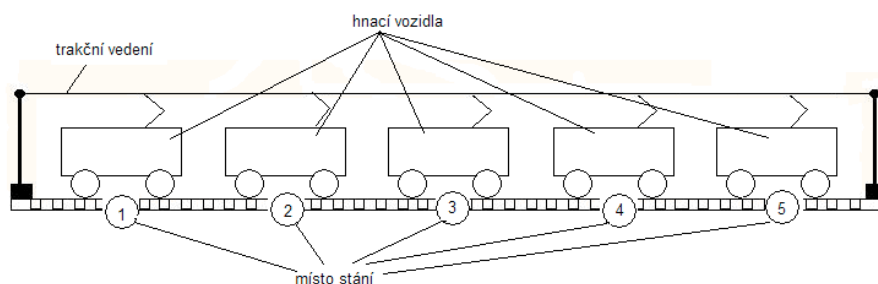
Pro tyto dvě možnosti využití lze vybudovat trakční vedení. Trakční vedení se buduje ve větších délkách, které jsou vždy v minimálních délkách. Při návrhu se výstavba řídí podle příslušných norem např. ČSN 341530.

Návrh trakčního vedení (Norma ČSN 341530):

- napětí 3kV,
- průjezdné stání,
- rychlost vozidel do 20 km/h,
- průřez vodiče trakčního vedení 100 mm,
- jednoduché sloupy a trakční vedení (prosté).

Tyto parametry jsou z důvodu stanovení přibližných nákladu na výstavbu trakčního vedení.

Schéma návrhu:



Obr.2.7: Schéma odstavného stání s trakčním vedením

### 4.3 Nabíjecí stanice pro motorová a elektrická hnací vozidla

Další z možností je při odstavení hnacího vozidla využít trakční nabíječ, který bude nabíjet akumulátor hodnotou stanovenou výrobcem akumulátoru. Nastavení hodnoty akumulátoru bude uloženo v trakčním nabíječi nebo bude ve vozidle informace o druhu

akumulátoru a předepsané hodnoty napětí a velikosti proudu. Toto stání lze použít jak pro motorové hnací vozidla tak, i pro elektrické hnací vozidla.

V tomto návrhu je uvedeno možné provedení u provozovatele SOKV Ostrava. Na koleji číslo 312 bude nacházet odstavné stání. Vedle této koleje je budova, a v této budově se budou nacházet nabíjecí stanice. A kde ve venkovních prostorech budou umístěny nabíjecí kabely. Obsluha přistaví vozidlo ke stanovišti a připojí nabíjecí kabely pomocí nabíjecích svorek na akumulátor, nastaví typ akumulátoru a zapne nabíjecí stanici.

Jednou z dalších možností je umístění nabíjecích stanic u odstavného stání na koleji číslo: 343, 344, 345, 346, 347. Tady obsluha pomocí točny zvolí příslušné stání pro nabíjení akumulátoru, vozidlo zde přistaví a připojí i akumulátor k nabíjecí stanici pomocí kabelů. Nastaví typ akumulátoru a zapne nabíjecí stanici.

### **Nabíjecí stanice:**

Pro nabíjení akumulátorů bylo zvoleno zařízení od firmy Eprona. Z důvodu dobré komunikace ze strany výrobce a ochotou poskytnout informace k těmto nabíječům. A také poskytnutí přibližné ceny pro určení nákladů na vybudování nabíjecí stanice. Zvoleno je nabíjecí zařízení HFR 48 s parametry na výstupu 0-120V/0-80A. Tento nabíječ má podle výrobce mikroprocesor, ve kterém lze mít uloženy nabíjecí hodnoty pro každý akumulátor. Dále umožňuje při plném nabití akumulátoru přerušit nabíjecí proces a tím zamezit poškození akumulátoru přebitím. [14]

Nabíječ HFR 48 umožňuje nabíjet akumulátory pro 24 V, 48 V, 96 V a 110V.

#### **4.3.1 Provedení nabíječů umístěných v budově**

Toto stání lze použít jak pro motorové lokomotivy, tak i elektrické lokomotivy. Podle využití hnacích vozidel (90 % a 70 %) se podle vzorce (1.3) vypočte počet nabíjecích míst. Stání je pro vozidla typu: 110, 111, 130, 163, 181, 182, 363, 704, 708, 730, 731, 731, 740, 742, 749, 751, 771. Tyto vozidla mají akumulátory s napětím (24 V - 110 V).



Počet nabíjecích míst:

Celkem pro 168 hnacích vozidel.

90 % využití:

$168 \cdot 0,9 = 151,2 \div 152$  vozidel je v provozu a 16 vozidel odstaveno.

70 % využití:

$168 \cdot 0,7 = 117,6 \div 118$  vozidel je v provozu a 50 vozidel odstaveno.

Tab.9: Výpočet počtu míst u budovy

Pro 90 % využití (10 % odstaveno)	Pro 70 % využití (30 % odstaveno)
$S_{zp} = \frac{2,05 \cdot 16}{24} \cdot 1,1 \cdot 1,1$	$S_{zp} = \frac{2,05 \cdot 50}{24} \cdot 1,1 \cdot 1,1$
$S_{zp} = 2$ místa	$S_{zp} = 5$ míst

Délka stání: Pomocí vzorců (1.4 a 1.5):

Pro 2 místa:

$$L_1 = 2 \cdot 18,8 + (2 - 1) \cdot 1 = 38,6 \text{ m}$$

$$L_2 = 2 \cdot 18,8 + (2 - 1) \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 41,6 \text{ m}$$

Pro 5 míst:

$$L_1 = 5 \cdot 18,8 + (5 - 1) \cdot 1 = 98 \text{ m}$$

$$L_2 = 5 \cdot 18,8 + (5 - 1) \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 100 \text{ m}$$

Zvoleny hodnoty:

$a = 1 \text{ m}$ ,  $b = 1 \text{ m}$ ,  $n_i = 5$ ,  $l_i = 18,8 \text{ m}$

Bylo vypočteno:

Pro 2 místa:

- délka odstavné koleje  $L_1 = 38,6 \text{ m}$ ,
- stavební délka odstavné koleje  $L_2 = 40,6 \text{ m}$ .

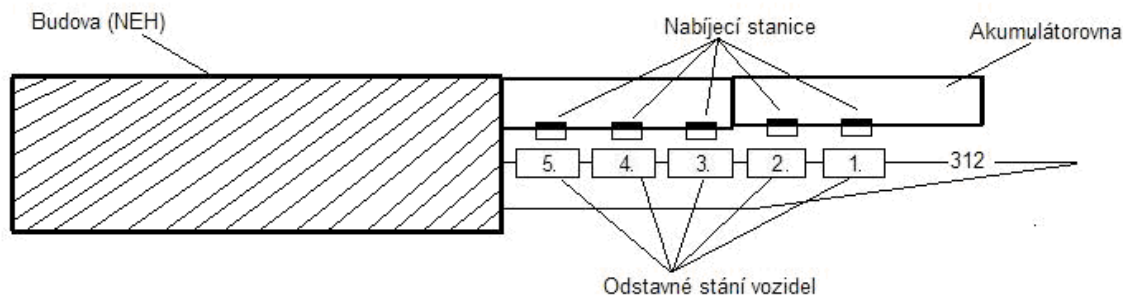
Pro 5 míst:

- délka odstavné koleje  $L_1 = 98 \text{ m}$ ,
- stavební délka odstavné koleje  $L_2 = 100 \text{ m}$ .

Provedení se stáním u budovy:

Pro toto provedení, kdy nabíječe budou umístěny v budově není třeba navrhovat nabíjecí skříň pro nabíječe. Nabíječ HFR 48, není z důvodu dostatečného IP krytí

vhodný na venkovní provoz. IP kód označuje odolnost proti vniknutí cizího tělesa (např. vody). V tomto provedení je možno nabíjet elektrická hnací vozidla, protože nad stáním je trolej a také motorová hnací vozidla.



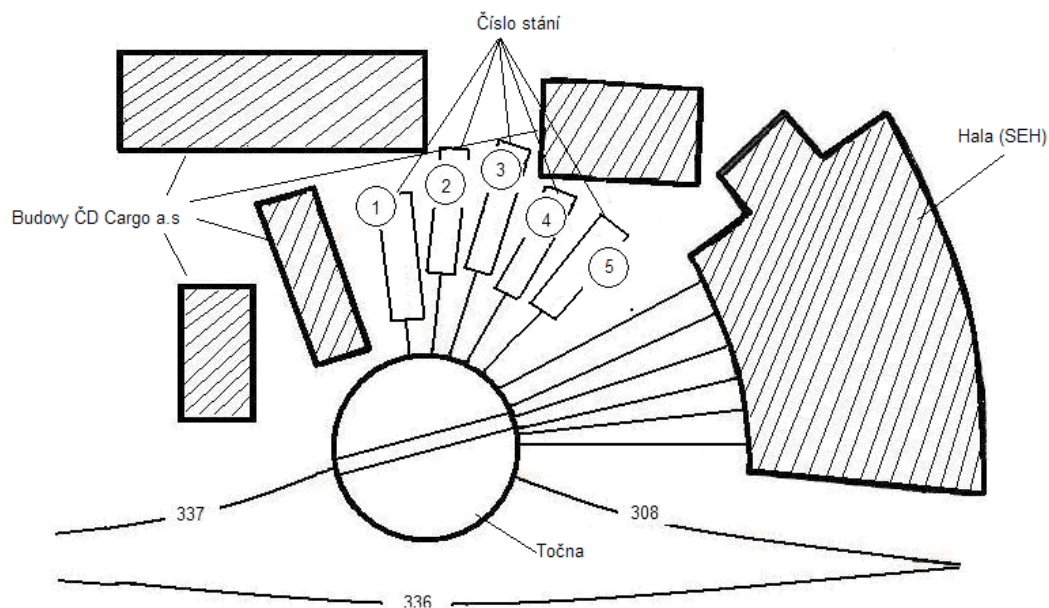
Obr.2.8: Schéma odstavného stání u budovy

Tab.10: Parametry nabíjecích stanovišť u budovy.

Číslo stání	Číslo koleje	Nabíjecí stojan
1.	312	24 V – 110 V
2.	312	24 V – 110 V
3.	312	24 V – 110 V
4.	312	24 V – 110 V
5.	312	24 V – 110 V

#### 4.3.2 Provedení s využitím volných kolejí, pomocí točny

U provozovatele SOKV Ostrava jsou volné stání u staré elektrické haly, kde se nachází volné koleje. Zde se dá odstavit 5 hnacích vozidel. Na každé koleji jedno vozidlo, které ale může být dlouhé maximálně podle tab. 11. V této tabulce je uvedena délka užitého stání pro nabíjení s využitím volných kolejí u točny. Pro toto stání je nutno umístit nabíječe do nabíjecích skříní. V těchto skříních budou umístěny také nabíjecí kabely. Skříně musí zajistit vhodné podmínky pro nabíječ. Měly by být vybaveny pro provoz za nízkých teplot vyhřívacím tělesem a pro letní provoz ventilátorem. Toto zařízení by mělo být schopno zajistit provoz v teplotách, které pro tento nabíječ uvádí výrobce a to je (-5 °C až 45 °C). Dále je třeba vybudovat přívodní napájení pro nabíječe. Použít vhodný kabel pro použití do země podle platných norem. V případě využití volných míst pomocí točny je nevýhoda v tom, že je třeba použít posunovací lokomotivu pro přistavení k nabíjecím stanicím. Což nemusí být časově a finančně výhodné.



Obr.2.9: Schéma odstavného stání u točny

Tab.11: Parametry nabíjecích stanovišť u točny.

Číslo stání	Délka koleje [m]	Číslo koleje	Nabíjecí stojan pro
1.	17	343	24 V – 110 V
2.	33	344	24 V – 110 V
3.	20	345	24 V – 110 V
4.	20	346	24 V – 110 V
5.	20	347	24 V – 110 V

#### 4.4. Návrh pomocí přenosných nabíjecí zařízení

Vybavit hnací vozidla nebo motorové hnací vozy přenosným nabíjecím zařízením, kde na koncové stanici bude vybudován zdroj na připojení 230V/50Hz, kde se zapojí nabíječ do elektrické sítě a pomocí kabelů se připojí k akumulátorů. Některé hnací motorové vozy jsou vybaveny vlastním nabíjecím zařízením typ (814, 914), které stačí připojit do elektrické sítě a začne se dobíjet akumulátor.

Další možností je vybavit vozidlo přenosným nabíječem od výrobce např. Eprona model Onboard. Nabíječ v současné době nabízí několik variant charakteristik (IU, IUa, Ia SAFT NiFe) a napětových provedení (24, 80, 180V). Tento model je možno vybavit potřebným rozsahem napětí podle vybraného akumulátoru. Nebo nabíječ od firmy Fronius. Ten je pro napětí 24 V nebo 48 V s připojení do 230 V / 50 Hz.



Obr.3: Nabíječ Onboard [17]



Obr.3.1: Nabíječ Fronius

## 4.5 Vybavení vozidel monitorovacím zařízením stavu akumulátorů

Zajištění optimálního stavu akumulátoru v průběhu jejich provozu lze posoudit z několika hledisek. Jeden pohled souvisí s dodržováním provozních podmínek akumulátoru podle doporučení výrobce, ale také i z důvodu dodržení záručních podmínek. Také je cíl zajistit maximální životnost akumulátoru z důvodu úspory nákladů na provoz.

Proto lze u menších provozovatelů hnacích vozidel vybavit hnací vozidla identifikátory stavu akumulátoru. Výrobce Eprona vyrábí monitorovací zařízení, které je napájeno z připojeného akumulátoru. Odběr proudu v klidovém stavu je podle výrobce na úrovni běžných ztrát akumulátoru, takže se nijak výrazně nesnižuje její kapacita. K tomuto zařízení je třeba mít nabíječ, který s tímto zařízením komunikuje a na základě informací z monitorovacího zařízení určí parametry akumulátoru. [12]

Propojení akumulátoru a nabíječe je shodné jako pro standardní nabíječ, to znamená výkonovým dvoužilovým kabelem. Veškerá komunikace mezi nabíječem a baterií je realizována přes tento kabel. Výrobce označuje tento systém jako „Powermodem“.

### Možnost využití Powermodemu

Na každý akumulátor se musí připevnit 1 ks zařízení Powermodem a je třeba mít nabíječ, který je schopen s tímto zařízením komunikovat tj. nabíječem HFR48 nebo HFR48 SWIFT. Pro více vozidel stačí jeden nabíječ např. HFR48 nebo HFR48 SWIFT, ale každé vozidlo musí mít svůj tzv. Powermodem. Nabíječ HFR48 má řízen nabíjecí proces mikroprocesorem. Každému akumulátoru je přiřazena konkrétní nabíjecí

charakteristika, která šetrně dobíjí akumulátor a tím prodlužuje jeho životnost. Po připojení akumulátoru k nabíječi musí obsluha navolit manuálně jaký akumulátor je připojen, nebo pokud je akumulátor osazen Powermodem nabíječ "sám pozná" (toto uvádí výrobce nabíječe), o jaký akumulátor se jedná a přiřadí odpovídající nabíjecí charakteristiku.[12]

## **5. Provozně ekonomické hodnocení návrhu**

V tomto ekonomickém hodnocení je přibližné stanovení nákladů na vybudování nabíjecích míst a stání. Jsou zde vypočteny přibližné náklady na pořízení nabíjecích stanic a příslušenství pro tyto stanice. V těchto nákladech jsou zahrnuty obecné ceny od výrobců zařízení. Pro přesné náklady je třeba zadat konkrétní požadavky výrobcům a podle toho výrobce stanoví přesnou cenu. Většina cen je neveřejná z důvodu poškození konkurencí. Pro přesné stanovení nákladů je třeba nechat vypracovat projekt.

### **5.1 Ekonomické hodnocení stání pro elektrická hnací vozidla**

V případě tohoto návrhu, kdy se vybuduje trakční vedení, které je podle parametru uvedených v kapitole 4.2 o délce 100 m činní náklady na výstavbu zhruba podle [13]:

Celková cena: 500 000 Kč.

### **5.2 Ekonomické hodnocení pro motorová a elektrická hnací vozidla**

Pro tuto možnost jsou dvě ekonomické možnosti hodnocení návrhu. Vybudování nabíjecích stanic, které budou umístěny v budově nebo s možností využití točny a volných stání:

#### **5.2.1 Ekonomické hodnocení nabíječů umístěných v budově**

V tomto případě je cena a nabíjecí místa dána uzpůsobení budovy, kde nabíječe jsou uvnitř a venku jen nabíjecí kabely.

### Stání u budovy:

Tab.12: Náklady na stání pro 5 vozidel u budovy:

5 ks nabíječ HFR 48	446 250 Kč
5 ks skříň pro kabely	5 000 Kč
Kabely pro nabíjení	3 000 Kč
Úprava budovy	25 000 Kč
CELKEM	479 250 Kč

Tab.13: Náklady na stání pro 2 vozidla u budovy:

2 ks nabíječ HFR 48	178 500 Kč
2 ks skříň pro kabely	2 000 Kč
Kabely pro nabíjení	1 200 Kč
Úprava budovy	10 000 Kč
CELKEM	191 700 Kč

## 5.2.2 Ekonomické hodnocení využití volných kolejí, pomocí točny

Tab.14: Náklady na stání pro 5 vozidel u točny:

5 ks nabíječ HFR 48	446 250 Kč
5 ks nabíjecí skříň	23 555 Kč
5 ks topné těleso	5 000 Kč
5 ks ventilátor	9 700 Kč
úprava stání	27 000 Kč
cena kabelů	10 500 Kč
5 ks nabíjecí kabelů	3 000 Kč
CELKEM	525 005 Kč

Tab.15: Náklady na stání pro 2 vozidla u točny:

2 ks nabíječ HFR 48	178 500 Kč
2 ks nabíjecí skříň	9 422 Kč
2 ks topné těleso	2 000 Kč
2 ks ventilátor	3 880 Kč
úprava stání	18 000 Kč
cena kabelů	2 695 Kč
2 ks nabíjecí kabelů	1 200 Kč
CELKEM	215 697 Kč

### 5.3 Ekonomické hodnocení pomocí přenosných nabíjecí zařízení

Přenosné nabíjecí zařízení.

Tab.16: Ceny přenosných nabíječek pro hnací vozidla:

TYP NABÍJEČE	CENA
Onboard (24 - 110V)	44 625 Kč
Selectiva plus 2050 E (24V)	29 302 Kč
Selectiva plus 4025 E (48V)	29 425 Kč

### 5.4 Ekonomické hodnocení vybavení vozidel monitorovacím zařízením stavu akumulátorů

Na každý akumulátor se musí připevnit 1 ks zařízení Powermodem a musí být nabíječ, který je schopen s tímto zařízením komunikovat tj. nabíječem HFR48 nebo HFR48 SWIFT. Cena za Powermodem je 2350,-Kč/ks bez DPH

Tab.17: Náklady pro 1 vozidlo s Powermodemem:

1 ks Powermodemu	2350 Kč
Nabíječ HFR48 Swift	84 000 Kč
Cena	102 757 Kč

### Porovnání nákladů na vybudování nabíjecí míst

Tab.18: Porovnání nákladů na vybudování jednoho nabíjecího místa:

Náklady na vybudování 1. nabíjecího místa:	Náklady:
Trolejové vedení	100 000 Kč
Nabíjecí stojan u budovy	95 850 Kč
Nabíjecí stojan u točny	105 001 Kč
Monitorování stavu akumulátoru	102 757 Kč

Ekonomicky nejlepší možností je vybudování nabíjecích stojanů u budovy. Lze tam potom nabíjet, jak elektrické hnací vozidla tak i motorové hnací vozidla. Pro případ využití volných míst pomocí točny je nevýhoda v tom, že je třeba použít posunovací lokomotivu pro přistavení k nabíjecím stanicím. Také je nutnost budovat nabíjecí skříně pro zakrytí nabíjecích stojanů, které se musí v zimě vytápět a v létě chladit. V případě vybudování trolejového vedení je nevýhoda v tom, že se zde dají nabíjet jen elektrická hnací vozidla.

## 6. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo na základě analýzy podmínek provozu hnacích vozidel a podmínek provozu akumulátorů posoudit stávající způsob jejich provozování a návrh opatření pro zlepšení jejich provozuschopnosti. V první kapitole práce jsou stručnou formou charakterizovány nejčastěji používané druhy akumulátorů se závěrečným porovnáním důležitých vlastností. V další kapitole je porovnání nejčastěji používaných akumulátorů u provozovatelů hnacích drážních vozidel. V další kapitole nazvaná jako „Analýza podmínek udržování provozuschopnosti akumulátorů u provozovatelů drážních hnacích vozidel“ je zpracován základní přehled toho, jak se postupuje při kontrole a údržbě u provozovatelů hnacích drážních vozidel v Ostravě a Olomouci. Dále jsou zde uvedeny podmínky pro provoz akumulátorů podle doporučení výrobců akumulátorů. Na konci této kapitoly je zhodnocení gelových a nikl-kadmiových akumulátorů podle nákladů na pořízení a technické podmínky gelových akumulátorů pro provoz. V kapitole „Návrh řešení pro udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů“ je na základě konkrétních požadavků vytvořeno několik teoretických návrhů na udržení vysoké provozuschopnosti akumulátorů. Také se zde nabídla možnost získání nových vědomostí týkající se údržby akumulátorů a závad, které se vyskytují především při provozu nově používaných gelových akumulátorů. A to volnou diskuzí o dané problematice s personálem, jak u provozovatele hnacích vozidel v Ostravě, tak i u provozovatele hnacích vozidel v Olomouci. V poslední kapitole je provozně ekonomické hodnocení návrhu. Zde je přibližné zhodnocení nákladů na vybudování navržených řešení nabíjecích míst.



## 7. Seznam použité literatury:

- [1] ČENĚK, Miroslav, et al. *Akumulátory od principu k praxi*. Vyd. 1. Praha : FCC PUBLIC, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0.
- [2.] ČERNOHORSKÝ, Tomáš. Hybridní posunovací lokomotiva, Diplomová práce, Pardubice DFJP 2009
- [3] ČENĚK, Miroslav, *Akumulátory a baterie*, STRO.M, spol. s.r.o, 1996, 149 s., ISBN 147653
- [4] KREJČÍ, František. *Elektrotechnika I*. Praha: Nakladatelství Informatorium 2006, 196 s.
- [5] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 181 s.
- [6] ČD V25. *Předpis pro údržbu elektrických a motorových hnacích vozidel*. (Účinnost od 1.7.1997)
- [7] ČD V98/62. *Předpis pro údržbu a opravy akumulátorových baterií železničních kolejových vozidel*. (Účinnost od 1.10.1993)
- [8] IBG Praha, s.r.o. Kralupy nad Vltavou. *Předpis pro údržbu a opravy akumulátorových baterií železničních vozidel IBG – 9/2006*. 2006. 23 s.
- [9] Saft Ferak, a.s. Raškovice. *Předpisy výrobce pro provoz a ošetřování niklkadmiových akumulátorových článků a baterií typů KPL, KPM a KPH*. 1999. 14 s.
- [10] SKŘÍČÍK, Pavel: *Osobní sdělení*. ČD DKV Olomouc., Olomouc. [cit. 2011-02-04]
- [11] ROIK, Karel: *Osobní sdělení*. ČD Cargo, a. s., Ostrava. [cit. 2011-04-05]
- [12] HANOUT, Martin: *Osobní sdělení*. Eprona, a.s. Rokytnice nad Jizerou. [cit. 2011-04-04]
- [13] MODLIDBA, František: *Osobní sdělení*. SŽDC, s.o. Ostrava. [cit. 2011-03-03]
- [14] ŠKAPA, Petr, *Provoz dep I*, skript, Ostrava, Editační středisko VŠB-TU Ostrava 2004, ISBN 80-248-0540-5
- [15] ŠIROKÝ, Jaromír., *Mechanika v dopravě I.*, kolejová vozidla, Ostrava, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava 2004, ISBN 80-248-0536-7
- [16] Saft Ferak, a.s. Raškovice. *Nikl-kadmiová baterie MATRICS*. 2004. 11 s.
- [17] Nabíječ Onboard .[cit. 2010-05-05]. Dostupný na [www](http://www.eprona.cz/cz/onboard.html):  
<http://www.eprona.cz/cz/onboard.html>
- [18] HOPPECKE Batterie Systeme GmbH. Deutschland. *FNC uzavřené nikl-kadmiové*

*baterie*. 2010, 8 s.

- [19] Pokles kapacity akumulátoru a charakteristiky. [cit. 2011-05-01]. Dostupný na  
www: <http://homepages.which.net/~paul.hills/Batteries/BatteriesBody.html>
- [20] Gelový akumulátor .[cit. 2010-02-12]. Dostupný na www:  
<http://www.sonnenschein.org/PDF%20files/GelHandbookPart2.pdf>

## 8. Seznam obrázků:

Obr.1.1: Konstrukce olověného akumulátoru .....	14
Obr.1.2: Konstrukce Ni-Cd článku .....	15
Obr.1.3: Řez článkem Ni-MH .....	16
Obr.1.4: Grafické porovnání hustoty energie akumulátorových článků .....	18
Obr.1.5: Gelový akumulátor .....	19
Obr.1.6: Gelový akumulátor v praxi .....	19
Obr.1.7: Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky olověného akumulátoru s vyznačenými etapami nabíjení .....	20
Obr.1.8: Vybíjecí křivky olověného akumulátoru .....	21
Obr.1.9: Nabíjecí (1,2) a vybíjecí (3,4) křivky alkalických akumulátorů .....	24
Obr.2: Příklad závislosti vnitřního odporu akumulátoru na stupni vybití .....	25
Obr.2.1: Vliv teploty na kapacitu olověného akumulátoru .....	26
Obr.2.2: Vliv teploty na kapacitu akumulátoru (Ni-Cd) .....	27
Obr.2.3: Příklad porovnání nákladu na provoz akumulátoru podle výrobce .....	38
Obr.2.4: Srovnání nákladů na pořízení akumulátorů .....	38
Obr.2.5: Pokles kapacity gelového akumulátoru pro teploty (20, 10, 0, -10 °C) .....	44
Obr.2.6: Pokles kapacity nikl-kadmiového akumulátoru pro teploty (20, 10, 0, -10 °C) .....	44
Obr.2.7: Schéma odstavného stání s trakčním vedením .....	47
Obr.2.8: Schéma odstavného stání u budovy .....	50
Obr.2.9: Schéma odstavného stání u točny .....	51
Obr.3: Nabíječ Onboard .....	52
Obr.3.1: Nabíječ Fronius .....	52

## 9. Seznam tabulek:

Tab.1: Základní parametry a vlastnosti akumulátorů .....	17
Tab.2: Základní vlastnosti 1. článků olověného akumulátoru .....	19
Tab.3: Základní vlastnosti 1. článků nikl-kadmiového akumulátoru .....	23
Tab.4: Maximální přípustné koncentrace nečistot v elektrolytu.....	25
Tab.5: Vlivy teploty na parametry, olověných a alkalických akumulátoru .....	27
Tab.6: Olověný, gelový akumulátor pokles kapacity při teplotě 0 °C.....	43
Tab.7: Nikl-kadmiový akumulátor pokles kapacity při teplotě 0 °C.....	43
Tab.8: Výpočet počtu míst pro trakční vedení.....	46
Tab.9: Výpočet počtu míst u budovy .....	49
Tab.10: Parametry nabíjecích stanovišť u budovy .....	50
Tab.11: Parametry nabíjecích stanovišť u točny.....	51
Tab.12: Náklady na stání pro 5 vozidel u budovy .....	54
Tab.13: Náklady na stání pro 2 vozidla u budovy .....	54
Tab.14: Náklady na stání pro 5 vozidel u točny .....	54
Tab.15: Náklady na stání pro 2 vozidla u točny .....	54
Tab.16: Ceny přenosných nabíječek pro hnací vozidla .....	55
Tab.17: Náklady pro 1 vozidlo s powermodemem.....	55
Tab.18: Porovnání nákladů na vybudování jednoho nabíjecího místa .....	55

## **10. Seznam příloh:**

**Příloha A:** Pokles kapacity gelového akumulátoru pro teploty (20 °C, 10 °C, 0 °C, -10°C)

**Příloha B:** Pokles kapacity nikl-kadmiového akumulátoru pro teploty (20 °C, 10 °C, 0 °C, -10 °C)

**Příloha C:** Normy km proběhů pro přístavbu železničních kolejových vozidel do periodických oprav.

**Příloha D:** Parametry nikl-kadmiových článků KPL, KPH, KPM

**Příloha E:** Nabíjecí charakteristiky